

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK BEESELS BROEK



- Eindrapportage -

Opdrachtgever: Stichting het Limburgs Landschap • Auteurs: Evi Verbaarschot, Mark van Mullekom
& Jan Roelofs • Projectnummer: PR-18.099 • Rapportnummer: RP-18.099.18.48 • Datum: 20-9-
2018

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK

BEESELS BROEK

Conceptrapportage

*Evi Verbaarschot
Mark van Mullekom
Jan Roelofs*



Titel rapport:

Bodemchemisch onderzoek Beesels Broek, conceptrapportage

Auteurs:

Evi Verbaarschot, Mark van Mullekom & Jan Roelofs

Rapportnummer: 18.099.18.48

Opdrachtgever:

Stichting het Limburgs Landschap

Informatie:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:

Evi Verbaarschot

Tel: 024-2122204

e.verbaarschot@b-ware.eu

www.b-ware.eu

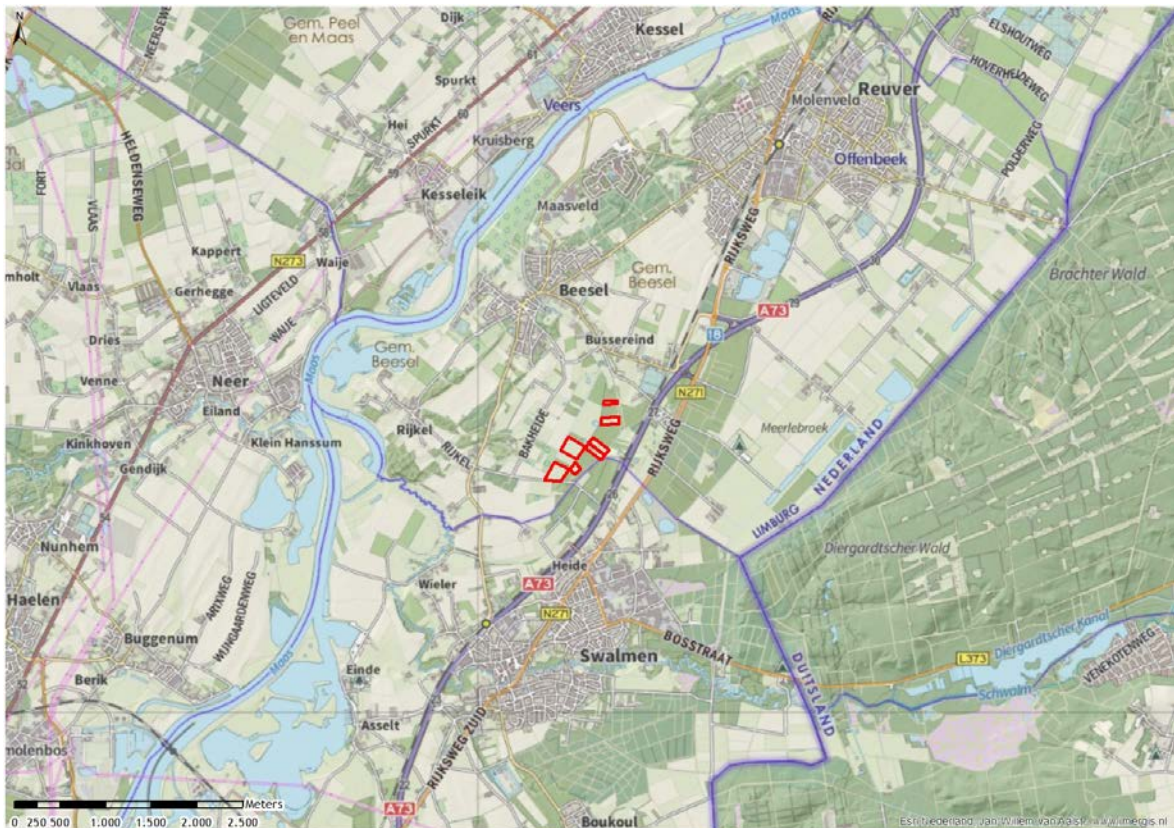
INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek	1
1.3 Leeswijzer	2
2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond	3
2.1 Belang fosfaatlimitatie	3
2.2 Fosfaatbeschikbaarheid	3
2.3 Verschralingsmaatregelen	4
2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen	6
2.5 Uitspoeling van fosfaat en nitraat naar het grondwater	6
3. Materiaal en methoden	9
3.1 Veldwerkzaamheden	9
3.2 Chemische analyse	11
4. Resultaten bodem- en hydrochemisch onderzoek	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Bodemchemie	13
4.3 Kansen voor natuurontwikkeling	17
4.4 Aanvullende maatregelen	27
5. Conclusies en aanbevelingen	31
5.1 Belangrijkste conclusies bodemchemie	31
5.2 Aanbevelingen	32
6. Literatuur	33
7. Bijlagen	35

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Ten zuidoosten van Beesel ligt natuurreervaat het Beesels Broek. Stichting het Limburgs Landschap (SLL) is bezig met de inrichting van dit natuurreervaat. Aangrenzend aan het Beesels broek liggen enkele voormalige landbouwpercelen die omgevormd kunnen worden naar natuur, gedacht wordt aan ontwikkeling van schraalgrasland. Onderzoekcentrum B-WARE is gevraagd om de bodemchemie van deze percelen te onderzoeken en daarmee de mogelijke natuurpotenties in kaart te brengen.



Figuur 1. Overzicht van de globale ligging van het onderzoeksgebied nabij het Beesels Broek.

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek

De fosfaatrijkdom van de bodem is bepaald aan de hand van een bodemchemisch onderzoek. Op 13 locaties in het gebied zijn daarvoor op verschillende diepten bodemonsters verzameld en chemisch geanalyseerd.

Op basis van de bodemchemische onderzoeksresultaten is aangegeven op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor soortenrijke natuurstypen gerealiseerd kan worden en welke verschrallingsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Concreet worden daarbij de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat zijn de P-concentraties in de toplaag en wat is de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur?

2. Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor, wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte ten opzichte van het huidige maaiveld?
3. Welke natuurpotenties zijn er op basis van de bodemchemie?
4. Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de problemen bij en kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden en in hoofdstuk 3 worden de toegepaste onderzoeksmethoden beschreven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het bodemchemisch onderzoek gepresenteerd en de kansen voor de natuurontwikkeling plus de mogelijke (inrichtings)maatregelen die daarvoor nodig zijn toegelicht. In hoofdstuk 5 staan de belangrijkste conclusies en aanbevelingen beschreven. In hoofdstuk 6 staat een overzicht van de gebruikte literatuur, gevolgd door de bijlagen (boorprofielen) in hoofdstuk 7.

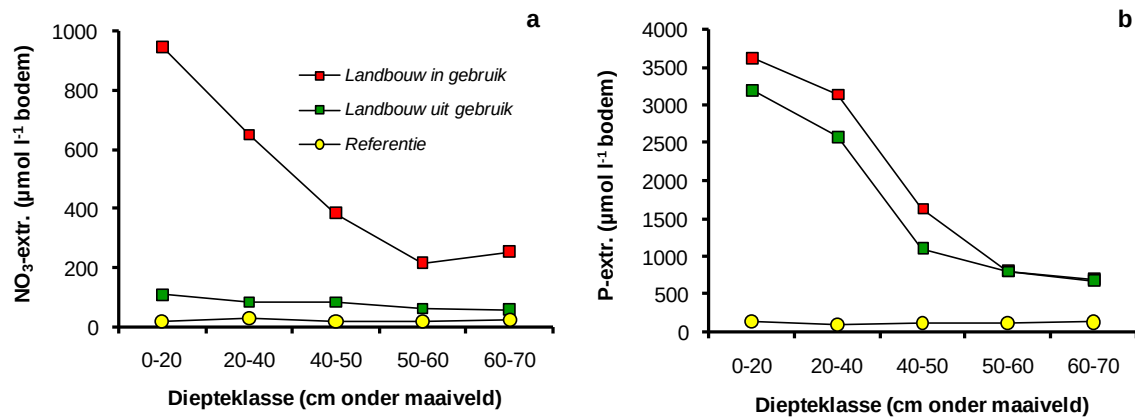
Dit onderzoek is gericht op het in kaart brengen van de verschrallingsmogelijkheden en natuurpotenties op basis van de bodemchemische omstandigheden en het bodemtype. Daarnaast zijn ook de grondwaterkwaliteit en (variatie in) grondwaterstanden van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Deze (geo)hydrologische aspecten maken echter geen (of in onvoldoende mate) onderdeel uit van dit onderzoek. De resultaten uit dit onderzoek kunnen sterk bepalend zijn voor de keuzes die bij de gebiedsinrichting gemaakt worden. De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de kansrijkdom qua bodemchemie. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. Een ontgroning kan bijvoorbeeld een geschikte maatregel zijn om de biogeochemische omstandigheden te optimaliseren, maar dient altijd te worden getoetst op de inpassing in het systeem. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van deze opdracht. Wel vormen de resultaten van dit project een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

2. NATUURONTWIKKELING OP VOORMALIGE LANDBOUWGROND

2.1 Belang fosfaatlimitatie

De kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke vegetatietypen op voormalige landbouwgronden worden sterk bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten als fosfor (P) en stikstof (N). Stikstoflimitatie is moeilijk te bereiken vanwege de hoge stikstofdepositie in Nederland en ook omdat onder relatief stikstofarme omstandigheden stikstofbindende soorten zich sterk uitbreiden. Het is daarom van belang om te sturen op fosforlimitatie.

Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie (Figuur 2; Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006). Fosfor daarentegen wordt sterk in de bodem gebonden en de fosforbeschikbaarheid neemt na beëindiging van het agrarische gebruik niet sterk af (Figuur 2; Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009). Het is daarom van belang om met maatregelen de beschikbaarheid van fosfor in de bodem te reduceren (zie paragraaf 2.3).



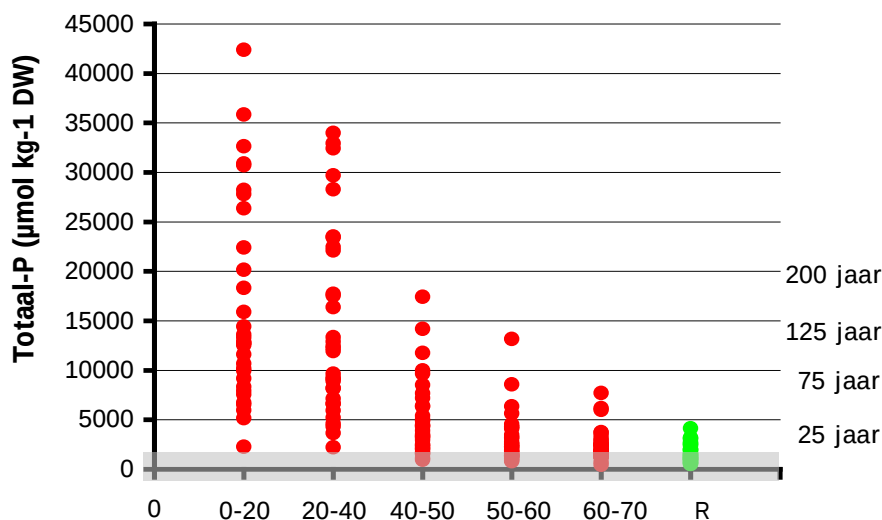
Figuur 2. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de bodem niet meer in landbouwkundig gebruik is doordat het uitspoelt naar het grondwater of wordt gedenitrificeerd. Het sterk in de bodem gebonden (immobiele) fosfaat verdwijnt echter niet op een natuurlijke wijze uit de bodem. Bron: Lamers e.a. (2009).

2.2 Fosfaatbeschikbaarheid

In tegenstelling tot stikstof neemt de fosforbeschikbaarheid niet door uitspoeling sterk af. Door middel van maaien en afvoeren kan de P-beschikbaarheid op voormalige landbouwgronden onvoldoende worden teruggebracht om binnen een termijn van enkele tientallen jaren een P-gelimiteerde uitgangssituatie te krijgen (zeer kalkrijke bodems uitgezonderd) (Figuur 2; Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009). Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag meestal onontkoombaar. Hierbij is het belangrijk om vast te stellen tot hoe diep ontgrond moet worden om een voldoende P-arme uitgangssituatie te creëren. Dit kan door op verschillende diepten de P-beschikbaarheid te meten (Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; van Mullekom e.a., 2013).

In het geval dat de natuurontwikkeling gepaard gaat met vernatting is het van belang om rekening te houden met veranderende redoxcondities (Smolders e.a., 2006). In de bodem zorgen

geoxideerde ijzerverbindingen (ijzer(hydr)oxiden; roest) in belangrijke mate voor de vastlegging van fosfaat. Onder natte condities kan er geen zuurstof meer in de bodem doordringen waardoor geoxideerde ijzerverbindingen worden gereduceerd. Hierdoor neemt het fosfaatbindende vermogen van de bodem sterk af en kan fosfaat uit de bodem vrijkomen.



Figuur 3. Totaal-P concentraties in verschillende voormalige landbouwgronden (rood) en referentiegebieden (R, groen). Op de X-as wordt de diepte in cm weergegeven waarop de monsters zijn genomen. Het grijze gebied geeft de streefwaarde van 2500 µmol totaal-P per kilogram droge bodem. Rechts wordt het aantal jaren gegeven dat nodig is om de totaal-P waarden te laten dalen tot deze referentiewaarde door middel van maaien en afvoeren, aannemende dat er 10 kg P per hectare per jaar kan worden afgevoerd. Bron: Smolders e.a. (2006).

2.3 Verschrallingsmaatregelen

Verschralling (limitatie van voedingsstoffen) op voormalige landbouwgronden kan op verschillende manieren bereikt worden. De verschillende gangbare methoden worden in de volgende alinea's beknopt toegelicht en kunnen met elkaar gecombineerd worden:

Extensieve begrazing

Bij extensieve begrazing worden nutriënten opgenomen door grazers. Via mest en urine komen ze dan elders weer vrij. Probleem hiervan is echter dat dit vooral leidt tot herverdeling van nutriënten binnen het gebied en veel minder tot de afvoer van nutriënten. Daarnaast worden bepaalde soorten als Pitrus (*Juncus effusus*), niet of weinig gegeten, waardoor de dominantie van deze soort alleen maar toeneemt (Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009).

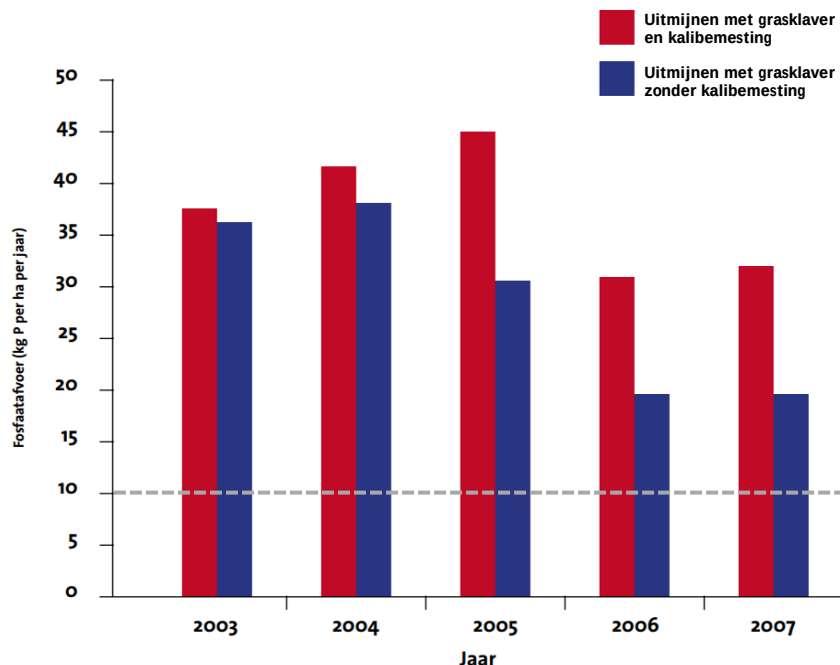
Intensief beheer met maaien en afvoeren

Intensief beheer in de vorm van maaien en afvoeren levert in veel gevallen voldoende resultaat op om de bestaande (gewenste) vegetaties in stand te houden. Nutriënten in het bovengrondse organisch materiaal worden afgevoerd, waardoor ze uit het systeem worden onttrokken (Smolders e.a., 2006). Echter, bij landbouwgronden, die intensief zijn bemest, is deze vorm van beheer niet afdoende om de hoeveelheid fosfaat in de bodem snel te verlagen. Het kan vele jaren duren, bij

sterk bemeste percelen vaak tot 200 jaar, voordat zoveel nutriënten zijn verwijderd dat er sprake is van een voedselarme bodem (Figuur 3, Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2005).

Uitmijnen

Uitmijnen is een versterkte verschraling door middel van een gewas waarvan de productie op peil wordt gehouden door middel van aanvullende bemesting opdat de afvoeren van het doelnutriënt (fosfor) maximaal is. Door middel van het zaaien van grasklaver in combinatie met kalibemesting en een maaibeheer kan fosfaat versneld (40 kg P/ha/jaar: 4x sneller als met maaien en afvoeren) aan de bodem worden onttrokken (Timmermans & van Eekeren, 2012). Klaver houdt met haar stikstofbinding de productie gaande en kalibemesting wordt gebruikt om klaver optimaal te laten groeien. Ook met deze beheersmaatregel duurt het op voormalige landbouwgronden vaak tientallen jaren voordat het gewenste verschralingsniveau is bereikt (van Mullekom e.a., 2013). Het uitmijnen kan versneld worden door het verwijderen van de extreem voedselrijke toplaag.



Figuur 4. Fosfaatafvoer (in kg fosfor per ha per jaar) door uitmijnen met grasklaver (klaver voor het vastleggen van stikstof) en kalibemesting en met grasklaver zonder kalibemesting (start eind 2002). De fosfaatafvoer werd bereikt door het maken van vier tot vijf maaisneden per jaar. Na enkele jaren daalt de afvoer van fosfaat in het deel zonder aanvullende kalibemesting. Stikstof- en kalibronnen zijn nodig voor een hoge fosfaatafvoer. Op de lange termijn is de gemiddelde afvoer bij uitmijnen ongeveer 40 kg fosfor per ha per jaar. Dit komt overeen met circa 90 kg fosforpentoxide (P_2O_5) per ha per jaar. Met jaarlijks eenmalig maaien en afvoeren kan een fosfaatafvoer van ca. 10 kg P per ha per jaar worden bereikt (grijze stippellijn). Bron: Timmermans & van Eekeren (2012; 2016).

Ontgronden

Bij ontgronden (toplaagverwijdering/maaiveldverlaging) worden enkele decimeters van de toplaag verwijderd (Smolders e.a., 2009). Voordat de toplaag afgegraven wordt, moet de diepte van het fosfaatfront bepaald worden. Dit komt namelijk niet altijd overeen met de dikte van de bouwvoor (Smolders e.a., 2009). Fosfaat kan door uitspoeling namelijk dieper in de bodem terecht komen. Door middel van ontgroning kan een snelle verschraling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen

de afstand tot het grondwater verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren (van Mullekom e.a., 2007; 2013). Potentiële nadelen van ontgronden zijn een aantasting van de geomorfologie van het gebied en dat de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld te hoog kunnen worden. Andere nadelen van ontgronden die vaak genoemd worden zijn het verlies van bodemleven en de nog aanwezige zaadbank. In de toplaag van de bodem van intensief bemeste landbouwgronden is het bodemleven echter sterk verstoord (zie o.a. Tsiafouli e.a., 2015; Bobbink e.a., 2016) en is geen vitale zaadbank van de oorspronkelijke vegetatie meer aanwezig (zie paragraaf 2.4), zodat deze verliezen over het algemeen beperkt zijn. Bij onvolledige ontgroning van de fosfaatrijke toplaag (zeker in combinatie met vernatting) kan alsnog verrijking met nutriënten plaatsvinden.

2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen

Na het verwijderen van de P-verrijkte toplaag is het vaak nodig om nog een aantal jaren aanvullend verschrallingbeheer te plegen door middel van maaien en afvoeren. Begrazen houdt het terrein wel open maar leidt nauwelijks of niet tot een verdere verschralling van het terrein. Nadat een P-gelimiteerde uitgangssituatie is gecreëerd is er vaak nog geen sprake van de gewenste vegetatieontwikkeling. Met name de zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich doorgaans niet of slechts na lange tijd. Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank meestal weinig meer over. Door de hoge nitraatconcentraties in deze bodems zijn de meeste zaden reeds gekiemd omdat nitraat werkt als kiemhormoon. De nog resterende zaadbank wordt vaak gedomineerd door zeer algemene soorten met een hoge zaadproductie, zoals Pitrus. Het uitzaaien van diasporen (zaden, sporen, stekken) via maaisel of plagsel van een geschikte referentievegetatie zal de ontwikkeling van de gewenste vegetatie sterk bevorderen (van Mullekom e.a., 2009; 2013). Wanneer plagsel wordt gebruikt voor herintroductie worden tevens mycorrhiza's (schimmels die planten helpen bij de opname van voedingsstoffen op voedselarme gronden) van de doelsoorten en andere essentiële bodem micro-organismen in het gebied geïntroduceerd (Bobbink e.a., 2016). Zonder introductie van doelsoorten is de kans op vestiging van deze soorten te verwaarlozen indien er geen bronpopulaties in de nabije omgeving aanwezig zijn (Klimkowska e.a., 2007).

Uiteraard is het voor het realiseren van een gewenst natuurdoeltype niet alleen van belang dat de bodemchemie geschikt is maar tevens dat de hydrologie van het systeem op orde is. Met name in grondwaterafhankelijke systemen (bijv. nat schraalland en dotterbloemhooiland) zullen veelal aanvullende hydrologische maatregelen nodig zijn. Deze maatregelen moeten vaak in de omgeving genomen worden omdat grondwaterafhankelijke systemen vaak gevoed worden door grondwater dat inrijgt op aanzienlijke afstand. Een bijkomend voordeel van verschrallen via ontgronden is dat door verlaging van het maaiveld de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld stijgen, waardoor waarschijnlijk minder ingrijpende hydrologische maatregelen in de omgeving noodzakelijk zijn.

2.5 Uitspoeling van fosfaat en nitraat naar het grondwater

De kwaliteit van natte natuurgebieden kan eveneens worden verbeterd door middel van externe maatregelen. Dit zijn maatregelen die bijvoorbeeld op aangrenzende landbouwgronden noodzakelijk zijn. Deze noodzaak kan onder meer zijn ingegeven door de vermistende invloed van deze landbouwgronden op de natuur door middel van uitspoeling naar het grondwater. Verlaging van de P- en N-concentraties in de toplaag door middel van een verschrallingsbeheer en/of het verminderen/stoppen van bemesting zal leiden tot lagere concentraties in de toplaag, en daarmee (op termijn) ook tot lagere concentraties in de diepere bodemlagen en tot verminderde uitspoeling naar het grondwater. Hierbij dient te worden opgemerkt dat nitraat relatief mobiel is en fosfaat

.....

relatief immobiel. Wanneer de stikstofbemesting wordt verminderd zal de nitraatuitspoeling al relatief snel verminderen (Figuur 2). Fosfor spoelt relatief langzaam uit. Na het verminderen van de P-bemesting zal vanuit P-verzadigde bodems de uitspoeling van fosfaat naar diepere bodemlagen (en het grondwater) nog voor langere tijd (vermoedelijk decennia) door gaan. Met behulp van een uitmijnbeheer kan de P-verzadiging van de toplaag van de bodem worden verlaagd waardoor de P-uitspoeling sneller afneemt.

.....

3. MATERIAAL EN METHODEN

3.1 Veldwerkzaamheden

Op 3 juli 2018 werden voor het bodemchemisch onderzoek op 13 locaties ondiepe boringen (tot 120 cm onder maaiveld) gezet. De locaties werden geselecteerd op basis van de actuele perceelverdeling, historische perceelverdeling, hoogteverschillen in het landschap en variatie in het bodemtype. Voor de exacte ligging van de boorlocaties zie Figuur 5 en Figuur 6. De boringen werden verricht met een Edelmanboor en de exacte boorlocaties werden ingemeten met een GPS (Tabel 1). Het bodemprofiel werd beschreven conform NEN 5104 door boormeester Jan Vermeer van het Veldwerkbureau (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel ook de GHG en GLG (Tabel 1).

Tabel 1. XY-coördinaten, landgebruik (type: GS = grasland en BR = braakliggend), actuele grondwaterstand (GWS; 3 juli 2018), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Voor ligging van de locaties zie Figuur 5.

Locatie	X	Y	Type	GWS	GLG	GHG
1	201447	363391	BR	50	70	0
2	201535	363202	BR	30	50	0
3	201336	362941	BR	30	60	0
4	201462	363213	BR	40	70	0
5	201355	362831	BR	90	100	30
6	201283	362928	BR	60	70	0
7	201128	362891	GS	80	90	20
8	201020	362945	GS	110	110	40
9	201043	362839	GS	105	110	40
10	201053	362680	GS	65	70	10
11	200895	362689	GS	70	80	20
12	200820	362627	GS	85	100	35
13	200841	362555	GS	110	120	50

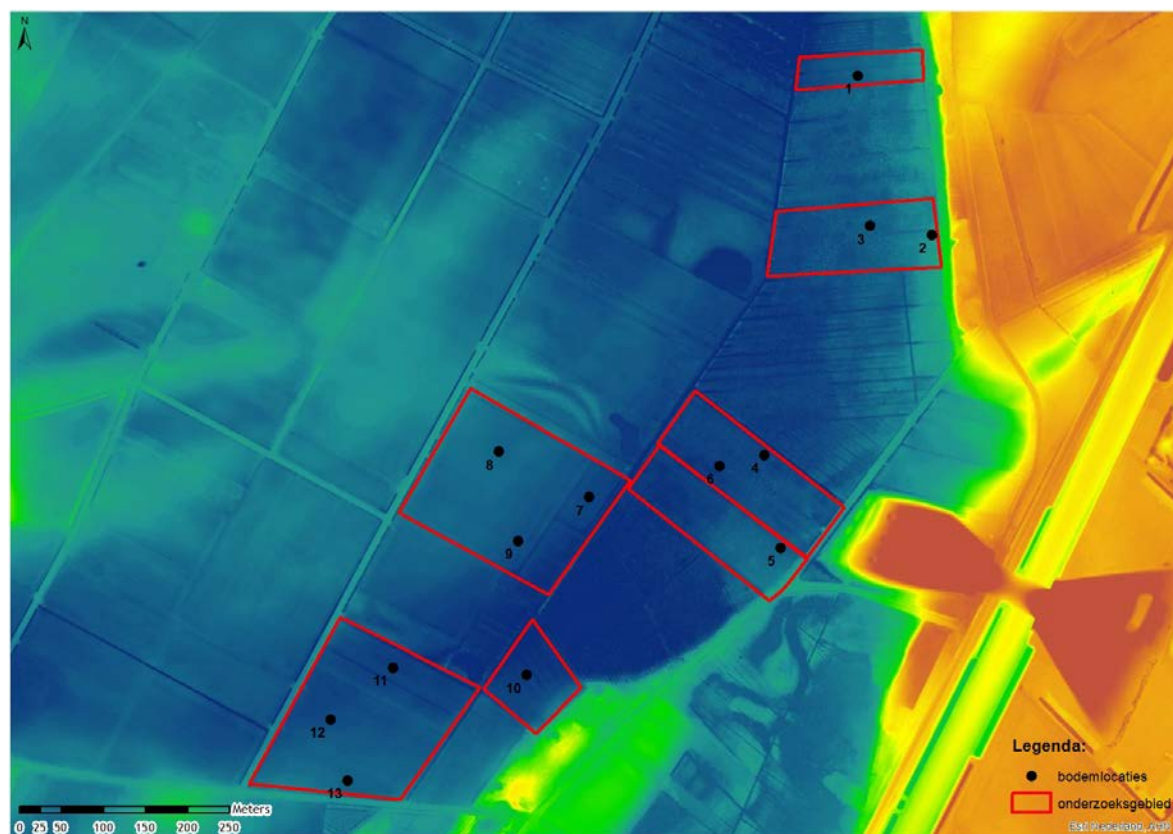
Op iedere locatie werden op 4 dieptes bodemonsters verzameld, waarbij de volgende bemonsteringsstrategie werd gehanteerd:

- toplaag (0-20 cm-mv);
- restant bouwvoor;
- 0-10 cm onder de bouwvoor en
- 10-20 cm onder de bouwvoor;

Bij het veldwerk werd op een aantal locaties van deze bemonsteringsstrategie afgeweken op basis van het aangetroffen bodemprofiel. De bodemonsters werden in afgesloten potten vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In totaal werden 53 bodemonsters verzameld en geanalyseerd.



Figuur 5. Topografische kaart met de ligging van de onderzoekslocaties.



Figuur 6. Hoogtekaart met de ligging van de onderzoekslocaties.

3.2 Chemische analyse

Per bodemmonster werden vervolgens de volgende variabelen bepaald:

- vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid;
- Olsen-P extractie: een maat voor de concentratie plantenbeschikbaar P;
- totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide);

Voor een selectie van de bodemmonsters (39 in totaal) is tevens de volgende variabele bepaald:

- pH-zout en zoutuitwisselbare concentraties van o.a. ammonium, nitraat en calcium;

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 48 uur bij 60°C. Omdat de bakjes precies tot aan de rand werden afgevuld (volume = 40 ml) konden later ook de concentraties worden omgerekend naar mol per liter bodemvolume. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsen-extractie

Plantenbeschikbaar fosfaat werd met behulp van een Olsen-extractie (Olsen e.a., 1954) bepaald. Het principe van deze extractiemethode is dat natriumbicarbonaat (NaHCO_3) zorgt voor een daling van de concentratie opgeloste calciumionen via de vorming van onoplosbaar calciumcarbonaat (CaCO_3). Hierdoor stijgt de concentratie opgelost fosfaat. Natriumbicarbonaat brengt ook de labiele, voor planten snel beschikbare, proportie van de organische fractie in oplossing. Voor de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l^{-1} natriumbicarbonaat (NaHCO_3) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4°C bewaard tot verdere analyse. De Olsen-P concentraties werden berekend in μmol per liter bodem.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4°C bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in μmol per liter bodem.

Zoutextractie (NaCl-extractie)

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kan onder andere de pH, ammonium- en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden. Daarnaast kan op basis van de aluminium/calcium-ratio een goede inschatting gemaakt worden van de buffercapaciteit van de bodem. Voor een zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0,2 mol l⁻¹ natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C tot verdere analyse. De elementenconcentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

Elementenanalyse (ICP en Auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, ICP-OES iCAP 6000). De concentraties nitraat (NO₃⁻) en ammonium (NH₄⁺) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl⁻) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer III systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.

4. RESULTATEN BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het bodemchemisch onderzoek beschreven. In paragraaf 4.2 wordt de bodemchemie beschreven en in paragraaf 4.3 worden de kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur besproken en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Tenslotte worden in paragraaf 4.4 enkele algemene aandachtspunten bij natuurontwikkeling gegeven.

4.2 Bodemchemie

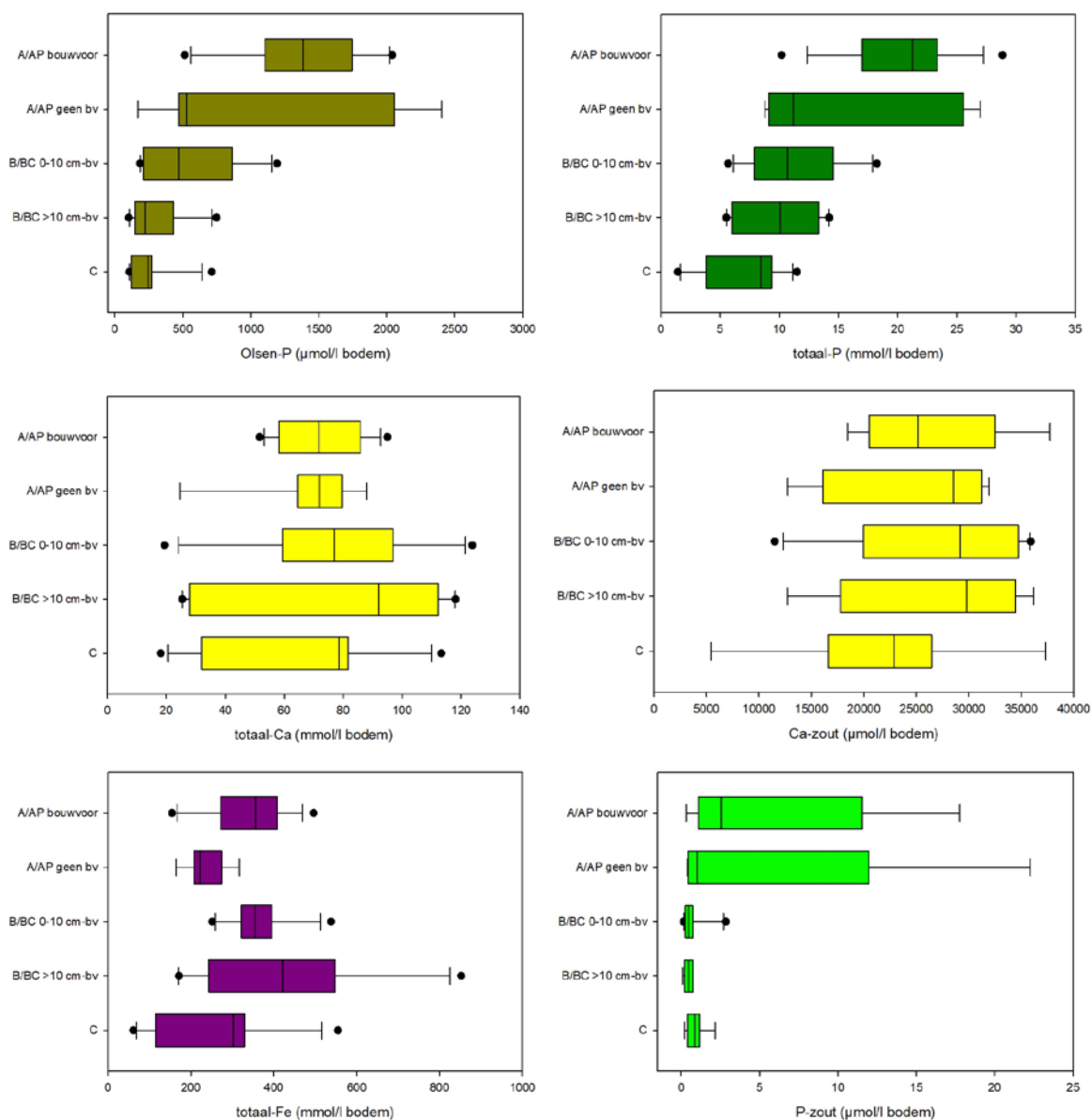
Voor het ontwikkelen van soortenrijke natuurtypen is het belangrijk dat de fosfaatbeschikbaarheid laag is. Voor het vaststellen van de fosfaatbeschikbaarheid van de bodem zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van belang, waarbij de Olsen-P een maat is voor de voor planten beschikbare fosfaatfractie. De totaal-P concentratie geeft de totale P voorraad in de bodem waarvan een (groot) deel op termijn weer beschikbaar kan komen voor planten (zeker bij een verandering van de redoxtoestand van de bodem door het nemen van vernattingsmaatregelen). Vanwege het feit dat planten wortelen in een bepaald bodemvolume en niet in een bepaalde bodemmassa worden de concentraties in deze rapportage uitgedrukt per liter verse bodem.

Nabij het Beesels Broek werd op 13 locaties de bodemchemie van verschillende bodemlagen in beeld gebracht. In Tabel 4 wordt per locatie de bodemchemie gegeven. In het gebied is overwegend sprake van een sterk zandige leembodem (lokaal met een zandige toplaag) op zand met lokaal veen in de ondergrond (zie profielbeschrijvingen in Bijlage 1).



Figuur 7. Impressie van het onderzoeksgebied nabij het Beesels Broek. Foto's: Jan Vermeer.

In Figuur 8 staan boxplots van een aantal belangrijke bodemchemische variabelen op verschillende diepten. De mate waarin de bouwvoor (dikte $\pm 15\text{--}40\text{ cm}$) is verrijkt met plantbeschikbaar fosfaat varieert lokaal sterk ($\pm 500\text{--}2000\text{ }\mu\text{mol/l}$ Olsen-P). De ruimtelijke variatie wordt weergegeven in Figuur 9. De totaal-P concentratie varieert van $\pm 10\text{--}25\text{ mmol/l}$ bodem) (Figuur 8). Direct onder de bouwvoor zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties fors lager dan in de bouwvoor of in het restant van de A-horizont, waarbij lokaal sprake is van inspoeling van fosfaat uit de toplaag. Dieper in de bodem ($>10\text{ cm-bv}$ en C-horizont) zijn de P-concentraties laag (Figuur 8). De labiele P-fractie in de bodem (P-zout) laat hetzelfde beeld zien, waarbij de concentratie P-zout (lokaal) hoog is in de bouwvoor en het restant van de A-horizont en fors lager is in de diepere bodemlagen (Figuur 8).



Figuur 8. Boxplots van de Olsen-P, totaal-P, -Ca, -Fe, en Ca- en P-zout concentraties van de geanalyseerde bodems. In de Boxplot is onderscheid gemaakt tussen de verschillende bemonsteringsdiepten en horizonten: de bouwvoor of A-horizont, 0-10 cm onder de bouwvoor, 10-20 cm onder de bouwvoor en >20 cm onder de bouwvoor. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.



Figuur 9. Olsen-P concentraties in de toplaag van de bodem (15-20 cm dikte) in $\mu\text{mol/l}$. In blauw de labiele P-concentratie in de toplaag van de bodem in $\mu\text{mol/l}$.

De bodem is over het algemeen ijzerrijk (100-300 mmol/l) tot zeer ijzerrijk (>300 mmol/l). De ijzerconcentratie in de bodem is met name hoog in de dieper gelegen lemlagen (40-50 cm-mv) met concentraties van ± 500 -850 mmol/l totaal-Fe. De bodem in het onderzoekgebied is matig tot sterk calciumhoudend (overwegend 18-124 mmol/l Ca-totaal en 5400-38.000 $\mu\text{mol/l}$ zoutuitwisselbaar calcium; Figuur 8). De concentratie totaal-Al is gemiddeld 362 mmol/l bodem en is een maat voor de hoeveelheid lutum in de bodem.

Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur is het niet alleen van belang dat de fosfaatconcentraties laag genoeg zijn, maar ook de concentratie stikstof mag niet te hoog zijn. De concentraties nitraat en ammonium zijn bepaald in de zoutextracten (Tabel 4). Over het algemeen zijn lage tot licht verhoogde nitraatconcentraties (0-250 μmol per liter bodem) gemeten in de bodem. Lokaal zijn sterk verhoogde nitraat- en of ammoniumconcentraties in de bodem gemeten (>500 $\mu\text{mol/l}$ bodem), met name in de toplaag van de bodem. De hoge stikstofconcentraties zijn waarschijnlijk het gevolg van bemesting of afbraak van organisch materiaal. Hoge stikstofconcentraties zijn vaak een minder groot probleem voor de beoogde natuurontwikkeling dan fosfaat. Nitraat is, in tegenstelling tot fosfaat, relatief mobiel en zal als gevolg van uitspoeling en nitrificatie- en denitrificatieprocessen op een natuurlijke manier uit het systeem verdwijnen (zie ook Figuur 2). De uitspoeling van nitraat naar het grondwater kan wel een effect hebben op de ijzerconcentratie van het grondwater. Nitraatrijk grondwater bevat over het algemeen namelijk nauwelijks ijzer doordat opgelost ijzer wordt geoxideerd door nitraat en neerslaat in de bodem. Ijzerrijk grondwater is juist positief voor de ontwikkeling van natte natuurtypen omdat dit fosfaat kan immobiliseren.

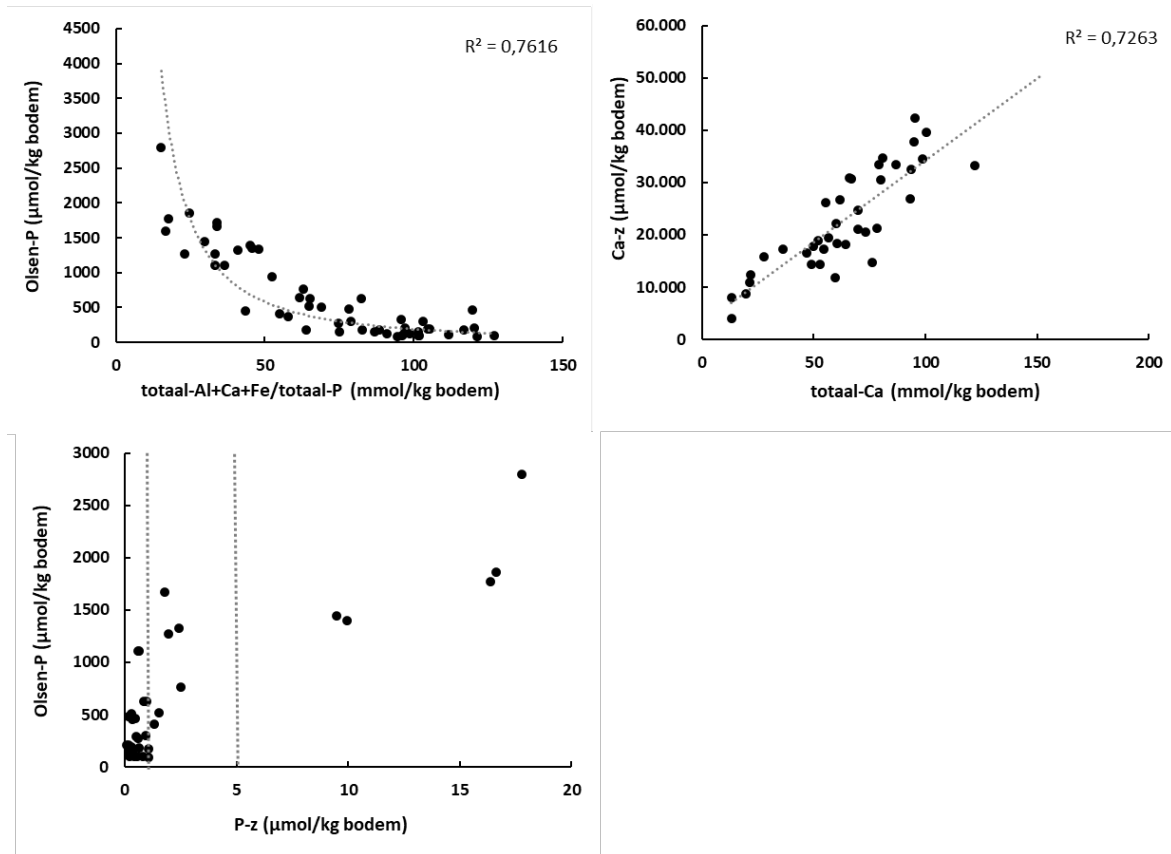
Bodemcorrelaties

Een lage fosfaatbeschikbaarheid biedt, zoals beschreven in hoofdstuk 2, goede kansen voor de ontwikkeling van (natte) voedselarme natuur. In Figuur 10 (linksboven) is duidelijk te zien dat de hoeveelheid Olsen-P gecorreleerd is aan de totaal-Ca, totaal-Al en totaal-Fe concentraties in de bodem. Fosfor wordt in bodems zeer effectief geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzer(hydr)oxiden en door de vorming van ijzerfosfaat zouten zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (onder aerobe condities) en FePO_4 onder anaerobe condities. Naast ijzer zorgt ook calcium voor fosfaatbinding in de bodem. Dit calcium gebonden-P is meestal slecht oplosbaar en komt slechts zeer langzaam vrij door verweringsprocessen. Ook klei-/leemdeeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder.

De calcium-, aluminium- en ijzerconcentraties kunnen de beschikbaarheid van fosfaat dus beïnvloeden. Op plaatsen waar de bodem rijk is aan ijzer, calcium en/of aluminium blijft de P-beschikbaarheid voor planten doorgaans laag.

In Figuur 10 (linksonder) is te zien dat de Olsen-P en labiele P fractie (P-z) correleren. Bij hoge Olsen-P concentraties ($>1200 \mu\text{mol/l}$) is de P-z concentratie ook hoog ($>5 \mu\text{mol/l}$ bodem). Bij lage Olsen-P concentraties ($<500 \mu\text{mol/l}$) is de P-z concentratie over het algemeen lager dan $1 \mu\text{mol/l}$ bodem.

Uit Figuur 10 blijkt dat de concentratie totaal-Ca en de uitwisselbare calciumconcentratie (Ca-z) (rechts) zeer goed correleren. De totaal-calciumconcentratie is dan ook, net als de concentratie zoutextraheerbaar calcium (Ca-zout), een indicatieve parameter voor het vaststellen van de mate van buffering van een bodem. Deze parameters zijn in grote mate bepalend voor de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen (zie paragraaf 4.3). Kleideeltjes en organisch materiaal vormen een belangrijk deel van het bodemadsorptiecomplex in de bodem. Indien het bodemadsorptiecomplex volledig is opgeladen met basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+) is de basenverzadiging 100%. In het gebied is de gemeten basenverzadiging gemiddeld 99% (Tabel 4), dus het bodemadsorptiecomplex is vrijwel geheel opgeladen met basische kationen. Voor de mate van buffering en de natuurligheidscondities is de concentratie zoutuitwisselbaar calcium echter het meest indicatief.



Figuur 10. Correlaties tussen enkele relevante bodemchemische variabelen in de bodem.

4.3 Kansen voor natuurontwikkeling

Doel van het huidige onderzoek is om de kansen voor de ontwikkeling van een aantal voormalige landbouwpercelen en braakliggende percelen te bepalen. Het bodemtype en de totale ijzer- en calciumconcentraties van de bodem zijn met name relevant met het oog op de potentiële natuurbeheer-/habitattypen. Bodems met een totaal-Ca concentratie van >20 mmol/l en een Ca-z concentratie van meer dan 4.000-5.000 µmol/l zijn over het algemeen voldoende gebufferd voor (matig) gebufferde natuurtypen (Tabel 2). Op calciumarme bodems ligt de ontwikkeling van heide (of hoogveen) voor de hand (zeer indicatief: Ca-t < 10 mmol/l en Ca-z $< 3.000/4.000$ µmol/l). Op zwak-calciumhoudende bodems (Ca-tot >10 mmol/l en Ca-z 3.000/4.000-8.000 µmol/l) ligt de ontwikkeling van een heischraal grasland (of kleine zeggenvegetaties) voor de hand mits er voldoende aanrijking met basen plaatsvindt via capillaire opstijging. Op de meer gebufferde bodems (Ca-z: 8.000-30.000 µmol/l) kan onder de juiste hydrologische omstandigheden (essentieel!) een blauwgrasland of veldrusschraalland tot ontwikkeling komen. Op sterk gebufferde bodems (Ca-z: > 20.000 -50.000 µmol/l) kan onder vochtige tot natte omstandigheden een dotterbloemhooiland (of Elzenbroekbos) tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een kamgrasweide/glanshaverhooiland).

Tabel 2. Overzicht van de verschillende bufferranges (11 categorieën) en fosfaatconcentraties (tussen haakjes de uitloop als een suboptimale concentratie) waarbij diverse natuurbeheertypen voorkomen (INDICATIEF). Voor dotterbloemhooilanden en elzenbroekbossen zijn hoge ijzerconcentraties vereist. Van blauwgrasland tot elzenbroekbos kunnen de totaal-P concentraties relatief hoog zijn als gevolg van ijzer- en/of calciumrijke omstandigheden. De fosfaatbeschikbaarheid voor planten (Olsen-P) is echter relatief beperkt. Het bekalkingsadvies is weergegeven in kg dolokal per hectare en dient ter voorkoming van verzuring en ter bevordering van de soortenrijkdom. Tevens wordt hiermee ammoniumfopoping/-toxiciteit voorkomen (nitrificatie wordt geremd onder zure omstandigheden). Naast de mate van buffering zijn de hydrologische omstandigheden essentieel voor de ontwikkeling van de natuurbeheertypen (niet in deze tabel). Het herstellen van de grondwaterinvloed kan bijdragen aan het opladen van het kationuitwisselingscomplex en daarmee het herstel van de buffercapaciteit. Het betreft een indicatieve tabel op basis van expert judgement en referentiemetingen. Bron: van Mullekom & Smolders (2012).

Categorie	Ca-NaCl (µmol/l)		Totaal calcium (mmol/l)		Basenverzadiging	Codes natuurbeheertypen						Bekalkingsadvies (kg/ha) voor tegengaan verzuring, ammoniumfopoping en/of vergroten soortenrijkdom	Risiko ammoniumtoxiciteit zonder bekalking
						N07.01	N11.01				N14.02		
						N06.04	N06.04	N10.01	N10.01	N10.02	N14.01 N10.02		
			Olsen-P (µmol/l)			< 500 (800)	< 300 (600)	< 500 (700)	< 500 (700)	< 600 (900)	< 800 (1000)		
			Totaal-P (mmol/l)			< 2,5 (6)	< 3 (7)	< 6 (10)	< 10 (20)	< 15 (35)	< 20 (50)		
						Droge heide Natte heide	Droog heischraal grasland Vochtig heischraal grasland	Kleine zeggen vegetatie	Blauwgrasland	Veldruischraal land	Dotterbloemhooiland & Elzenbroekbossen		
1	<500	en/of	<10	en/of	<30%							2500	+
2	500-1000	en/of	10-15	en/of	30-70%							2000	+
3	1000-2000	en	15-20	en	>70%							2000	+
4	>2000	en	15-20	en	>70%							2000	+/-
5	2000-4000	en	20-30	en	>70%							1000	+/-
6	>4000	en	20-30	en	>70%							0	-
7	8000-14000	en	30-60	en	>90%							0	-
8	>14000	en	30-60	en	>90%							0	-
9	>14000	en	60-100	en	>90%							0	-
10	20000-30000	en/of	>100	en	>90%							0	-
11	>30000	en/of	>100	en	>90%							0	-
						soortenarm		normaal		soortenrijk			

Natuurbeheertypen

Welke natte natuurbeheertypen zich daadwerkelijk in het gebied kunnen ontwikkelen is onder andere afhankelijk van de voedselrijkdom van de bodem, de mate van buffering van de bodem en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater. In Tabel 3 staan voor een groot aantal natte natuurbeheertypen de abiotische randvoorwaarden aangegeven. Voorwaarde bij de ontwikkeling van soortenrijke voedselarme systemen blijft de lage fosfaatbeschikbaarheid voor planten. De metingen van de Olsen-P (en totaal-P) concentraties zijn dan ook in belangrijke mate leidend in de natuurontwikkelingskansen. In de praktijk is het mogelijk dat de Olsen-P concentratie op zeer ijzerrijke locaties na ontgroning lager uitvalt omdat extra fosfaat immobilisatie plaatsvindt door de ijzerhydroxides in de bodemlaag die het nieuwe maaiveld vormen. Dit is echter niet te kwantificeren.

Tabel 3. Gemiddelde hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand, pH-H₂O en fosfaatconcentraties in de bodem van enkele natte (grondwaterafhankelijke) natuurbeheertypen (optimumranges). Droge natuurbeheertypen, zoals droge heide en droog heischraal grasland, zijn niet afhankelijk van grondwaterinvloed. Bronnen: Ertsen e.a. (2005); Onderzoekcentrum B-WARE, niet gepubliceerde data; De Becker (2004). Onder zeer ijzerrijke omstandigheden kunnen bij een optimale ontwikkeling ook hogere fosforconcentraties voorkomen (aangegeven tussen haakjes).

Natuurbeheertype	Specificatie	GHG (cm)	GLG (cm)	pH-H ₂ O	Olsen-P (μmol/l FW)	totaal-P (mmol/l FW)
Hoogveen		10 + mv	5 -mv	3.5-5	100-300	0.5-2.5
Vochtige heide		10+ tot 20- mv	20- tot 50- mv	3.5-5	100-500	0.5-2.5
Schraalgrasland			40- tot 120 -			
	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	mv	4.5-6	150-400	1-3
	Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	4.5-6.5	100-500	1-6
	Blauwgrasland	0 tot 25- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	200-500	2-10 (tot 20)
Vochtig hooiland	Dotterbloemhooiland / Veldrusschraalland	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
		20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv			
Moeras	Grote zeggenmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 40- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Rietmoeras	mv	mv	>5	-	-
Hoog- en laagveenbos	Berkenbroekbos	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
	Elzenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)

Verschralingsduur

Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied als gevolg van het landbouwkundig gebruik lokaal sterk verrijkt is met fosfaat. Om soortenrijke natuurtypen tot ontwikkeling te kunnen laten komen, is een verschralingsbeheer noodzakelijk om de fosfaatbeschikbaarheid te reduceren. Verschraling kan plaatsvinden door maaien en afvoeren, uitmijnen of het verwijderen van de fosfaatrijke toplaag. Om te kunnen bepalen of verschraling via maaien en afvoeren of uitmijnen binnen een redelijke termijn te realiseren is, kan op basis van de Olsen-P en totaal-P concentratie een indicatieve verschralingsduur berekend worden. Voor (zeer) ijzerrijke bodems is het mogelijk dat de berekende verschralingsduur overschat wordt indien er extra fosfaatimmobilisatie plaatsvindt (zie vorige paragraaf).

De verschralingsduur voor maaien en afvoeren is berekend op basis het verschil tussen de actuele totaal-P concentratie en de totaal-P streefconcentratie, uitgaande van een P-afvoer van 10 kg hectare per jaar (Chardon, 2008). De streefconcentratie voor totaal-P is hierbij niet op een standaard waarde vastgesteld, maar berekend aan de hand van de streefwaarde voor Olsen-P en de actuele beschikbare P-fractie (Olsen-P/totaal-P-ratio). Stel dat de actuele P-fractie 0,1 is (10% van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 μmol Olsen-P/l de streefwaarde voor totaal-P 5 mmol/l ((0,5/10) x 100). Stel dat bij een ijzer- en kalkrijke bodem de actuele P-fractie slechts 0,05 is (5% van de totale P voorraad is beschikbaar), dan is de streefwaarde voor totaal-P 10 mmol/l ((0,5/5) x 100). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de verschralingsperiode gelijk blijft. Wanneer we hiervoor zouden corrigeren (veranderende (Ca+Fe)/P-ratio) valt de verschralingsduur 10-20% lager uit. Het is echter te verwachten dat de effectiviteit van de verschraling in de laatste fase afneemt, waardoor de P-afvoer van 10 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschralingsduur eerder hoger uit zou vallen. De gehanteerde formule lijkt overall dan ook een goed beeld te geven van de indicatieve verschralingsduur. Verder is de ondergrens voor de totaal-P streefconcentratie voor de ijzerrijke klei- en veenbodems gesteld op 10 mmol/l. Voor uitmijnen kan de verschralingsduur op

.....

dezelfde wijze berekend worden, maar dan wordt uitgegaan van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar (Figuur 4). Deze afvoer kan gehaald worden met uitmijnen met grasklaver in combinatie met kalibemesting of een productieve graszode in combinatie met stikstof- en kalimesting, maar de daadwerkelijke onttrekking is afhankelijk van de omstandigheden (o.a. hydrologie).

In het onderzoeksgebied wordt gedacht aan de ontwikkeling van schraalgrasland. Voor de ontwikkeling van nat schraalland is bij dit onderzoek uitgegaan van een Olsen-P streefconcentratie van 300-500 μmol per liter bodem, voor de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt een streefconcentratie van 300-800 μmol Olsen-P per liter bodem gehanteerd. In Tabel 4 wordt de berekende verschralingsduur via maaien en afvoeren voor iedere locatie en diepte gegeven. Deze verschralingsduur is berekend voor een Olsen-P streefconcentratie van zowel 300, 500, 800 en 12000 $\mu\text{mol/l}$. De verschralingsduur via maaien en afvoeren is 4 keer zo lang als de duur via uitmijnen. Voor het berekenen van de totale verschralingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschralingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld.

Kansen voor natuurontwikkeling per locatie

In deze paragraaf worden op basis van bodemtype en bodemchemie de kansen voor natuurontwikkeling per locatie besproken. De grondwaterkwaliteit en (variatie in) grondwaterstanden zijn natuurlijk ook van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen, maar deze aspecten maken geen onderdeel uit van dit onderzoek. Het eventueel afgraven van de P-rijke bodem dient daarom ook te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. Het is van belang om het systeem 'regelbaar' en klimaatbestendig te maken zodat geanticipeerd kan worden op natte periodes in zowel de winter als de zomer. De resultaten van dit bodemchemisch onderzoek vormen wel een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

Locatie 1 (GLG = 70 cm-mv, GHG = 0 cm-mv en GVG = 19 cm-mv)

De zandige bouwvoor (0-15 cm-mv) is matig ijzerrijk (totaal-Fe: 154 mmol/l) en calciumrijk (Ca-t: 72 mmol/l en Ca-z: $\pm 25.000 \mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is sterk verrijkt met fosfaat (totaal-P: 24,1 mmol/l en Olsen-P: 2040 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (15 cm) verwijderd wordt is de bodem veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 9,8 mmol/l en Olsen-P: 470 $\mu\text{mol/l}$) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland (Ca-t: 80 mmol/l en Ca-z: $\pm 28.000 \mu\text{mol/l}$).

Advies: 15 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van vochtig hooiland (overgangen van blauwgrasland naar dotterbloemhooiland), om verruiging met pitrus te voorkomen wordt geadviseerd om enkele jaren te blijven maaien en afvoeren.

Tabel 4. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties nabij Beesels Broek. GWS = actuele grondwaterstand (op 3 juli 2018; cm -mv); GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand (cm -mv); GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv); HZT = horizont; OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem; Ols-P = Olsen-P; -t = totale concentratie, -z = zoutuitwisselbare concentraties, BV = indicatieve basenverzadiging, M3 = berekende verschrallingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren tot een streefconcentratie van 300 µmol Olsen-P/l bodem (totaal-P > 3 mmol/l), M5/M8/M12 tot een streefconcentratie van 500/800/1200 µmol Olsen-P/l bodem (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De Olsen-P en zoutuitwisselbare concentraties (grijs gedrukt = berekend op basis van correlatie met totaal-Ca) zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	jaren	
<5	<200	<20	<4000	<40	0	voldoende P-arm
6-10	201-400	21-50	4001-10000	41-100	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	401-800	51-100	10001-20000	101-250	11-40	matig kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	801-1200	101-150	20001-35000	251-500	41-80	kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
>50	>1200	150-250	35001-50000	501-800	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
		>250	>50000	>800	201-400	ongeschikt voor verschralling I
					>400	ongeschikt voor verschralling II

Nr	Type	GWS	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	M3	M5	M8	M12
1	BR	50	70	0	0-15	zand, sterk siltig, bv	AP	11	49	0,7	2040	24,1	0,08	143	72	154	8	50	13	27	25186	430	1953	5,8	100	13	38	8	97	85	69	47
					15-30	zand, sterk siltig, ger.	A	5	24	1,3	470	9,8	0,05	283	80	207	14	95	12	27821									17	0	0	0
					30-40	zand, sterk siltig, ger.	A	4	27	1,3	529	9,1	0,06	258	77	165	12	84	15	9	28548	187	1772	6,1	100	2	24	5	12	2	0	0
					40-50	leem	C	2	19	1,6	236	9,9	0,02	358	79	303	18	139	4	30	28248	97	1827	6,5	100	1	11	5	0	0	0	0
2	BR	30	50	0	0-20	zand, sterk siltig, ger.	A	5	32	1,2	529	11,2	0,05	145	25	317	8	41	9	21	12765	2068	3441	4,9	91	0	10	1538	30	4	0	0
					20-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	4	24	1,4	184	5,7	0,03	175	19	322	9	49	7	47	11514	2440	3382	4,7	92	0	7	750	0	0	0	0
					30-40	leem, sterk zandig, ger.	BC	4	23	1,3	435	5,6	0,08	240	25	267	12	64	23		10815								5	0	0	0
					40-50	leem, sterk zandig, ger.	BC	3	22	1,5	429	6,5	0,07	275	29	370	13	76	25	209	12731	2170	4136	5,3	90	1	7	228	6	0	0	0
3	BR	30	60	0	0-20	bosveen	O	49	81	0,2	560	21,9	0,03	14	31	194	1	6	16	12	19559	996	3476	5,1	99	4	223	79	64	15	0	0
					20-30	zand, matig siltig	C	5	28	1,2	348	3,8	0,09	157	32	115	6	42	28	7	18279	439	3652	5,5	100	1	12	8	2	0	0	0
					30-40	zand, matig siltig	C	3	23	1,4	272	2,7	0,10	155	34	96	6	41	24		13395								0	0	0	0
					40-50	zand, matig siltig	C	2	20	1,4	139	1,4	0,10	101	18	61	4	24	15	17	5414	522	1243	6,1	99	1	8	2	0	0	0	0
4	BR	40	70	0	0-15	leem, sterk zandig	A	13	43	0,8	836	16,8	0,05	271	72	268	16	88	13	15	31922	199	2501	5,4	100	0	44	10	51	32	3	0
					15-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	10	41	0,9	237	10,7	0,02	356	88	355	19	113	18	6	34641	627	1959	5,3	100	1	9	5	0	0	0	0
					30-50	leem, sterk zandig	A	8	39	0,9	167	8,8	0,02	361	88	275	19	119	21	4	30580	392	1683	5,4	99	1	12	15	0	0	0	0
					50-60	leem	C	6	32	1,2	107	8,8	0,01	434	82	321	22	155	15	29	24681	189	1476	5,6	99	1	6	11	0	0	0	0
5	BR	90	100	30	0-20	zand, sterk siltig	A	4	20	1,4	2406	25,6	0,09	170	66	216	11	55	8	24	19423	2454	1461	5,9	100	22	197	6	140	127	107	80
					20-35	zand, sterk siltig	A	3	18	1,3	2057	27,0	0,08	165	65	222	10	53	6		23122								108	96	77	53
					35-55	zand, kleig, insp.	BC	3	18	1,5	198	8,7	0,02	403	84	349	23	134	5	20	26720	618	1719	6,3	100	0	18	7	0	0	0	0
					55-65	leem, sterk zandig	C	3	21	1,4	256	8,4	0,03	269	65	204	16	103	6	8	22903	971	1632	6,3	100	1	72	7	0	0	0	0
6	BR	60	70	0	0-15	leem, sterk zandig	A	11	47	0,7	869	16,2	0,05	131	55	186	8	45	14	13	23691	1260	2167	5,4	100	1	249	52	50	32	6	0
					15-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	8	34	1,0	472	8,9	0,05	553	124	394	36	169	17	15	33689	72	2052	6,2	100	0	12	6	15	0	0	0
					30-45	leem, sterk zandig, ger.	BC	16	49	0,7	102	5,5	0,02	208	100	172	11	71	20		34169								0	0	0	0
					45-55	leem	C	6	32	1,1	111	8,5	0,01	462	97	308	26	156	11	5	37361	127	2277	6,3	100	1	13	7	0	0	0	0
7	GS	80	90	20	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	6	21	1,0	625	15,5	0,04	488	95	427	23	152	9	14	37743	150	9317	6,3	100	1	575	5	50	19	0	0
					20-30	leem, sterk zandig	BC	4	18	1,4	263	12,1	0,02	767	112	539	40	267	4	22	30324	211	5471	6,7	100	0	37	5	0	0	0	0
					30-40	leem, sterk zandig	BC	4	17	1,5	196	13,2	0,01	697	111	490	36	256	4		37621								0	0	0	0
					40-50	leem, sterk zandig	BC	3	18	1,6	164	13,9	0,01	753	117	538	43	267	4	2	32685	181	5201	6,9	100	0	39	5	0	0	0	0
8	GS	110	110	40	0-20	leem, sterk zandig, bv.	AP	6	9	1,0	1386	20,2	0,07	411	79	423	19	126	7	1	30760	619	9548	6,1	100	10	213	98	99	81	53	17
					20-30	leem, sterk zandig, bv.	AP	8	11	1,1	1514	22,2	0,07	478	89	496	22	143	7										56	47	33	14
					30-40	leem, sterk zandig, insp.	BC	4	10	1,1	865	14,5	0,06	434	76	407	19	145	4	36	34987	559	7502	6,2	100	3	206	6	30	19	3	0
					40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	3	12	1,2	250	9,8	0,03	645	85	449	34	217	2	12	29808	234	4630	6,5	100	0	25	4	0	0	0	0
9	GS	105	110	40	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	5	12	1,0	1384	22,6	0,06	450	83	394	22	152	7	13	34749	772	10947	6,5	100	3	529	5	110	90	59	19
					20-40	leem, sterk zandig, bv	AP	5	14	1,0	1335	18,9	0,07	431	76	357	22	141	5		26823											
					40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	3	14	1,2	565	11,8	0,05	469	77	376	20	169	3	1	35927	537	6051	6,8	100	0	79	7	17	4	0	0
					50-60	leem, sterk zandig, insp.	BC	3	16	1,4	140	10,3	0,01	511	83	395	21	193	3	19	36198	322	5196	6,7	100	1	37	6	0	0	0	0
10	GS	65	70	10	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	5	21	1,0	514	10,2	0,05	346	65	293	16	105	10	21	18440	128	953	5,2	100	0	209	12	26	2	0	0
					20-30	zand, sterk siltig, ger. insp.	B	4	19	1,4	210	7,9	0,03	372	71	355	16	125	8	8	19306	160	1141	6,2	100	0	101	5	0	0	0	0
					30-40	leem, sterk zandig	C	5	22	1,3	269	8,3	0,03	397	79	329	20	134	10	16	23875	132	1654	5,8	100	0	23	7	0	0	0	0
					40-50	leem, sterk zandig	C	5	22	1,5	122	11,5	0,01	726	113	555	38	256	9		38378								0	0	0	0

- Tabel 4 vervolg -

Nr	Type	GWS	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ol-s-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	M3	M5	M8	M12	
11	GS	70	80	20	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	7	18	1,0	1601	24,9	0,06	435	89	322	25	148	11	16	25742	303	7147	6,3	100	2	586	5	127	107	78	39	
					20-35	leem, sterk zandig, ger.	B	6	20	1,1	993	18,2	0,05	491	97	370	24	162	9	33240									60	42	17	0	
					35-45	leem, sterk zandig, ger.	B	4	18	1,6	291	14,2	0,02	793	118	577	48	269	6	10	22832	277	4434	6,4	100	0	117	7	0	0	0	0	0
					45-55	zand, sterk siltig	C	4	21	1,4	243	9,3	0,03	388	82	355	18	163	8	6	16032	278	2769	6,5	100	0	78	7	0	0	0	0	0
12	GS	85	100	35	0-20	zand, sterk siltig, bv	AP	7	13	1,1	1544	21,9	0,07	306	61	287	16	116	9	27	20875	2731	8086	5,6	100	10	601	29	111	93	66	31	
					20-30	zand, sterk siltig, bv	AP	5	11	1,1	1380	17,8	0,08	275	61	257	11	106	7		21978									44	35	23	7
					30-40	leem, sterk zandig, insp.	BC	5	13	1,1	1193	16,5	0,07	238	59	252	11	102	7	7	28037	507	7039	6,1	100	1	427	12	39	30	17	0	
					40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	4	20	1,3	148	13,0	0,01	498	101	853	24	194	6		34509									0	0	0	0
13	GS	110	120	50	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	7	9	1,1	1986	28,9	0,07	277	56	380	22	92	10	7	20183	7481	8625	5,6	100	18	1116	26	153	135	108	71	
					20-30	leem, sterk zandig, bv	AP	5	8	1,1	1886	21,3	0,09	301	52	368	20	94	7		19062									56	49	38	24
					30-40	zand, sterk siltig, insp.	B	3	7	1,2	730	7,9	0,09	320	43	288	16	115	3	9	20198	4472	5714	6,0	100	1	352	11	14	8	0	0	
					40-50	zand, sterk siltig, insp.	B	2	7	1,2	748	6,2	0,12	184	26	171	8	80	2		10900									10	6	0	0
					50-60	zand, sterk siltig	C	2	15	1,4	712	7,4	0,10	223	30	223	11	102	2	6	17117	3206	4104	6,0	100	2	386	13	13	7	0	0	

Locatie 2 (GLG = 50 cm-mv, GHG = 0 cm-mv en GVG = 15 cm-mv)

De zandige toplaag van de bodem (0-20 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 317 mmol/l) en matig calciumhoudend (Ca-t: 25 mmol/l en Ca-z: $\pm 13.000 \mu\text{mol/l}$). De toplaag is zeer rijk aan ammonium (1538 $\mu\text{mol/l}$). De zandbodem is weinig verrijkt met fosfaat (totaal-P: 11,2 mmol/l en Olsen-P: 529 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor ontwikkeling van vochtig hooiland of nat schraalland (in combinatie met beperkt verschrallingsbeheer). Momenteel is sprake van rietopslag. De onderliggende sterk zandige leembodem (20-30 cm-mv) is veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 5,7 mmol/l en Olsen-P: 184 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een kleine zeggenvegetatie met overgangen naar blauwgrasland (Ca-t: 19 mmol/l en Ca-z: $\pm 12.000 \mu\text{mol/l}$).

Advies: ontwikkeling van vochtig hooiland, in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 5 jaar maaien en afvoeren) is ontwikkeling van nat schraalland mogelijk, of 20 cm afgraven voor de ontwikkeling van een kleine zeggenvegetatie met overgangen naar blauwgrasland.

Locatie 3 (GLG = 60 cm-mv, GHG = 0 cm-mv en GVG = 17 cm-mv)

De venige toplaag van de bodem (0-20 cm-mv; 49% organische stof) is ijzerrijk (totaal-Fe: 194 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 31 mmol/l en Ca-z: $\pm 20.000 \mu\text{mol/l}$). Momenteel is sprake van rietopslag. De veenbodem is matig rijk aan fosfaat (totaal-P: 21,9 mmol/l en Olsen-P: 560 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van vochtig hooiland, ontwikkeling van nat schraalland is mogelijk met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 15 jaar maaien en afvoeren). De onderliggende zandbodem (20-30 cm-mv) is veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 3,8 mmol/l en Olsen-P: 348 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een kleine zeggenvegetatie met overgangen naar blauwgrasland (Ca-t: 32 mmol/l en Ca-z: $\pm 18.000 \mu\text{mol/l}$).

Advies: ontwikkeling van vochtig hooiland, in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 15 jaar maaien en afvoeren) is ontwikkeling van nat schraalland mogelijk, of 20 cm afgraven voor de ontwikkeling van een kleine zeggenvegetatie met overgangen naar blauwgrasland.

Locatie 4 (GLG = 70 cm-mv, GHG = 0 cm-mv en GVG = 19 cm-mv)

De toplaag van de sterk zandige leembodem (0-15 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 268 mmol/l) en sterk calciumhoudend (Ca-t: 72 mmol/l en Ca-z: $\pm 32.000 \mu\text{mol/l}$). Momenteel is sprake van rietopslag. De bodem is matig rijk aan fosfaat (totaal-P: 16,8 mmol/l en Olsen-P: 836 $\mu\text{mol/l}$) en door middel van verschrallingsbeheer (circa 5 jaar (suboptimaal) tot 30 jaar (optimaal) maaien en afvoeren) geschikt voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (dotterbloemhooiland). De

.....
onderliggende bodemlaag (15-30 cm-mv) is veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 10,7 mmol/l en Olsen-P: 237 µmol/l) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 88 mmol/l en Ca-z: ±35.000 µmol/l).

Advies: circa 5 (-30) jaar maaien en afvoeren (of zode verwijderen, mits soortenarm) of 15 cm afgraven voor ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

Locatie 5 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 30 cm-mv en GVG = 49 cm-mv)

De toplaag van de zandbodem (0-35 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 216-222 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 65-66 mmol/l en Ca-z: ±19.000-23.000 µmol/l). Momenteel is sprake van rietopslag. De zandbodem is sterk verrijkt met fosfaat (totaal-P: 25,6-27,0 mmol/l en Olsen-P: 2057-2406 µmol/l) en te fosfaatrijk voor ontwikkeling van schraalgrasland. De diepere bodemlaag (35-55 cm-mv) is veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 8,7 mmol/l en Olsen-P: 198 µmol/l) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met overgangen naar dotterbloemhooiland (Ca-t: 84 mmol/l en Ca-z: ±27.000 µmol/l).

Advies: 35 cm afgraven voor de ontwikkeling van blauwgrasland met overgangen naar dotterbloemhooiland.

Locatie 6 (GLG = 70 cm-mv, GHG = 0 cm-mv en GVG = 19 cm-mv)

De toplaag van de sterk zandige leembodem (0-15 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 186 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 55 mmol/l en Ca-z: ±24.000 µmol/l). Momenteel is sprake van rietopslag. De bodem is matig rijk aan fosfaat (totaal-P: 16,2 mmol/l en Olsen-P: 869 µmol/l) en door middel van verschrallingsbeheer (circa 6 (suboptimaal) tot 30 jaar (optimaal) maaien en afvoeren) geschikt voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (dotterbloemhooiland). De diepere bodemlaag (15-30 cm-mv) is veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 8,9 mmol/l en Olsen-P: 472 µmol/l) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 124 mmol/l en Ca-z: ±34.000 µmol/l).

Advies: circa 6 (-30) jaar maaien en afvoeren (of zode verwijderen, mits soortenarm) of 15 cm afgraven voor ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

Locatie 7 (GLG = 90 cm-mv, GHG = 20 cm-mv en GVG = 39 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-20 cm-mv) is sterk ijzer- en calciumrijk (totaal-Fe: 427 mmol/l, Ca-t: 95 mmol/l en Ca-z: ±38.000 µmol/l). De bouwvoor is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P: 15,5 mmol/l en Olsen-P: 625 µmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van vochtig hooiland. Wanneer doelsoorten ontbreken wordt geadviseerd om de zode te verwijderen en doelsoorten in te brengen. Wanneer de bouwvoor (20 cm) verwijderd wordt is de bodem minder fosfaatrijk (totaal-P: 12,1 mmol/l en Olsen-P: 263 µmol/l) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 112 mmol/l en Ca-z: ±30.000 µmol/l).

Advies: ontwikkeling van vochtig hooiland, zode openbreken of chopperen/plaggen en soorten inbrengen. Of 20 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

.....
Locatie 8 (GLG = 110 cm-mv, GHG = 40 cm-mv en GVG = 60 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-30 cm-mv) is zeer ijzerrijk (totaal-Fe: 423-496 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 79-89 mmol/l en Ca-z: ± 30.000 -31.000 $\mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (totaal-P: 20,2-22,2 mmol/l en Olsen-P: 1386-1514 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (30 cm) verwijderd wordt is de bodem matig fosfaatrijk (totaal-P: 14,5 mmol/l en Olsen-P: 865 $\mu\text{mol/l}$) en met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 5 (suboptimaal) tot 20 jaar (optimaal) maaien en afvoeren) geschikt voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland (Ca-t: 76 mmol/l en Ca-z: ± 35.000 $\mu\text{mol/l}$). De diepere bodemlaag (40-50 cm-mv) is schraal (totaal-P: 9,8 mmol/l en Olsen-P: 250 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van blauwgrasland met overgangen naar dotterbloemhooiland.

Advies: 40 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van blauwgrasland met overgangen naar dotterbloemhooiland of 30 cm afgraven in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 5 (-20) jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

Locatie 9 (GLG = 110 cm-mv, GHG = 40 cm-mv en GVG = 60 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-40 cm-mv) is zeer ijzerrijk (totaal-Fe: 357-394 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 76-83 mmol/l en Ca-z: ± 27.000 -35.000 $\mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (totaal-P: 18,9-22,6 mmol/l en Olsen-P: 1335-1384 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (40 cm) verwijderd wordt is de bodem veel minder fosfaatrijk (totaal-P: 11,8 mmol/l en Olsen-P: 565 $\mu\text{mol/l}$) en onder de juiste hydrologische omstandigheden geschikt voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland (Ca-t: 77 mmol/l en Ca-z: ± 36.000 $\mu\text{mol/l}$).

Advies: 40 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

Locatie 10 (GLG = 70 cm-mv, GHG = 10 cm-mv en GVG = 27 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 293 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 65 mmol/l en Ca-z: ± 18.000 $\mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P: 10,2 mmol/l en Olsen-P: 514 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van blauwgrasland/dotterbloemhooiland. Wanneer doelsoorten ontbreken wordt geadviseerd om de zode te verwijderen en doelsoorten in te brengen. Wanneer de bouwvoor (20 cm) verwijderd wordt is de zandbodem minder fosfaatrijk (totaal-P: 7,9 mmol/l en Olsen-P: 210 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van nat schraalland/vochtig hooiland (Ca-t: 71 mmol/l en Ca-z: ± 19.000 $\mu\text{mol/l}$).

Advies: ontwikkeling van blauwgrasland met overgangen naar dotterbloemhooiland door de zode open te breken of chopperen/plaggen en soorten te introduceren.

Locatie 11 (GLG = 80 cm-mv, GHG = 20 cm-mv en GVG = 37 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk (totaal-Fe: 322 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 89 mmol/l en Ca-z: ± 26.000 $\mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (totaal-P: 24,9 mmol/l en Olsen-P: 1601 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor de ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (20 cm) verwijderd wordt is de leembodem minder fosfaatrijk (totaal-P: 18,2 mmol/l en Olsen-P: 993 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een voedselrijker vochtig hooiland/kruidrijk grasland. Door middel van aanvullend verschrallingsbeheer (circa 15-20 jaar maaien en afvoeren) kan de ontwikkeling van een soortenrijk vochtig hooiland (Ca-t: 97 mmol/l en Ca-z: ± 33.000 $\mu\text{mol/l}$) worden geoptimaliseerd. De diepere

.....
bodemlaag (35-45 cm-mv) is schraler (totaal-P: 14,2 en Olsen-P: 291 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van nat schraalland/vochtig hooiland (Ca-t: 118 mmol/l en Ca-z: $\pm 23.000 \mu\text{mol/l}$).

Advies: 35 cm afgraven voor ontwikkeling van nat schraalland/vochtig hooiland of 20 cm afgraven voor de ontwikkeling van een voedselrijker vochtig hooiland; in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 15-20 jaar maaien en afvoeren) voor ontwikkeling van vochtig hooiland (optimaal).

Locatie 12 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 35 cm-mv en GVG = 53 cm-mv)

De zandige bouwvoor (30 cm dikte) is ijzerrijk (totaal-Fe: 257-287 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 61 mmol/l en Ca-z: $\pm 21.000-22.000 \mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (totaal-P: 17,8-21,9 mmol/l en Olsen-P: 1380-1544 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor de ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (30 cm) verwijderd wordt komt een wat minder fosfaatrijke (totaal-P: 16,5 mmol/l en Olsen-P: 1193 $\mu\text{mol/l}$) leembodem aan de oppervlakte welke door middel van circa 15-20 jaar maaien en afvoeren geschikt is voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (Ca-t: 59 mmol/l en Ca-z: $\pm 28.000 \mu\text{mol/l}$). De diepere leembodem (40-50 cm-mv) is zeer ijzerrijk (totaal-Fe: 853 mmol/l) en fosfaatarm (totaal-P: 13,0 en Olsen-P: 148 $\mu\text{mol/l}$). Deze bodemlaag is geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 101 mmol/l en Ca-z: $\pm 35.000 \mu\text{mol/l}$).

Advies: 40 cm afgraven t.b.v. ontwikkeling van dotterbloemhooiland of 30 cm afgraven in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 15-20 jaar maaien en afvoeren) voor ontwikkeling vochtig hooiland.

Locatie 13 (GLG = 120 cm-mv, GHG = 50 cm-mv en GVG = 70 cm-mv)

De sterk zandige lemige bouwvoor (0-30 cm-mv) is zeer ijzerrijk (totaal-Fe: 368-380 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t: 52-56 mmol/l en Ca-z: $\pm 19.000-20.000 \mu\text{mol/l}$). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (totaal-P: 21,3-28,9 mmol/l en Olsen-P: 1886-1986 $\mu\text{mol/l}$) en te voedselrijk voor de ontwikkeling van schraalgrasland. Wanneer de bouwvoor (30 cm) verwijderd wordt komt een matig calciumhoudende zandbodem (totaal-Ca: 26-43 mmol/l) aan de oppervlakte. De zandbodem (30-60 cm-mv) is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P: 6,2-7,9 mmol/l en Olsen-P: 712-748 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van glanshaverhooiland (Ca-t: 43 mmol/l en Ca-z: $\pm 20.000 \mu\text{mol/l}$) onder drogere omstandigheden. Onder vochtige tot natte omstandigheden is aanvullend verschrallingsbeheer (circa 18 jaar maaien en afvoeren) vereist voor de ontwikkeling van nat schraalland.

Advies: 30 cm afgraven voor ontwikkeling van glanshaverhooiland (onder drogere omstandigheden) of (onder natte/vochtige omstandigheden) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 18 jaar maaien en afvoeren) een nat schraalland ontwikkelen.

Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling

De in de vorige paragraaf beschreven kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke vegetatietypen staan in Tabel 5 samengevat. Indien de P-rijke toplaag moet worden afgegraven staat in de tabel de bodemchemische samenstelling van de nieuwe toplaag gegeven. Wanneer in de tabel de bodemlaag van 20-30 cm onder maaiveld staat gegeven, dan kan het aangeven natuurtype worden gerealiseerd na afgraven van de toplaag van 20 cm. Bij beheer staat of er nog aanvullend verschrallingsbeheer (maaien en afvoeren) noodzakelijk is. Voor een aantal locaties bestaan er zoals in de vorige paragraaf beschreven verschillende opties en dan is in Tabel 5 de bodemchemie van meerdere bodemlagen gegeven.

Tabel 5. Overzicht van de natuurontwikkelingspotenties per locatie. Op de locaties waar het noodzakelijk is om de bouwvoor af te graven, is in de tabel de bodemchemie van de nieuwe toplaag gegeven. GLG/GHG = gemiddeld laagste (GLG) en hoogste (GHG) grondwaterstand, afgeleid uit het bodemprofiel; Natuurtype: VHL = vochtig hooiland, SCHL = nat schraalland, KZV = kleine zeggenvegetatie, DHL= dotterbloemhooiland, BLG = blauwgrasland en GHL= glanshaverhooiland. Beheer = aanvullend verschrallingsbeheer; OS = organisch stofpercentage, Ols-P = Olsen-P, -t = totale concentratie, -z = zoutuitwisselbare concentraties, Ca-z = zoutuitwisselbare calciumconcentratie (zie paragraaf bodembuffering), M3 = berekende verschrallingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren tot een streefconcentratie van 300 µmol Olsen-P/l bodem (totaal-P > 3 mmol/l), M5, M8 en M12 tot een streefconcentratie van 500/800/1200 µmol Olsen-P/l bodem. De Olsen-P en -z concentraties zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de -t concentraties in mmol/l verse bodem. Voor de gebruikte kleurarceringen zie het bijschrift van Tabel 4. Aanvullend verschrallingsbeheer: - = niet nodig, + = < 10 jaar maaien en afvoeren, ++ = 10-25 jaar maaien en afvoeren, +++ = > 25 jaar maaien en afvoeren.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	Natuurtype	Beheer	OS	Ols-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	M3	M5	M8	M12	
1	70	0	15-30	zand, sterk siltig, ger.	A	VHL	-	5	470	9,8	283	80	207	14	95	12		27821									17	0	0	0
2	50	0	0-20	zand, sterk siltig, ger.	A	VHL	-	5	529	11,2	145	25	317	8	41	9	21	12765	2068	3441	4,9	91	0	10	1538	30	4	0	0	0
			20-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	KZV/BGL	-	4	184	5,7	175	19	322	9	49	7	47	11514	2440	3382	4,7	92	0	7	750	0	0	0	0	0
3	60	0	0-20	bosveen	O	VHL	-	49	560	21,9	14	31	194	1	6	16	12	19559	996	3476	5,1	99	4	223	79	64	15	0	0	0
			20-30	zand, matig siltig	C	KZV/BGL	-	5	348	3,8	157	32	115	6	42	28	7	18279	439	3652	5,5	100	1	12	8	2	0	0	0	0
4	70	0	0-15	leem, sterk zandig	A	DHL	+	13	836	16,8	271	72	268	16	88	13	15	31922	199	2501	5,4	100	0	44	10	51	32	3	0	0
			15-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	DHL	-	10	237	10,7	356	88	355	19	113	18	6	34641	627	1959	5,3	100	1	9	5	0	0	0	0	0
5	100	30	35-55	zand, kleiig, insp.	BC	BGL/DHL	-	3	198	8,7	403	84	349	23	134	5	20	26720	618	1719	6,3	100	0	18	7	0	0	0	0	0
6	70	0	0-15	leem, sterk zandig	A	DHL	+	11	869	16,2	131	55	186	8	45	14	13	23691	1260	2167	5,4	100	1	249	52	50	32	6	0	0
			15-30	leem, sterk zandig, ger.	BC	DHL	-	8	472	8,9	553	124	394	36	169	17	15	33689	72	2052	6,2	100	0	12	6	15	0	0	0	0
7	90	20	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	VHL	-	6	625	15,5	488	95	427	23	152	9	14	37743	150	9317	6,3	100	1	575	5	50	19	0	0	0
			20-30	leem, sterk zandig	BC	DHL	-	4	263	12,1	767	112	539	40	267	4	22	30324	211	5471	6,7	100	0	37	5	0	0	0	0	0
8	110	40	30-40	leem, sterk zandig, insp.	BC	DHL	+	4	865	14,5	434	76	407	19	145	4	36	34987	559	7502	6,2	100	3	206	6	30	19	3	0	0
			40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	DHL/BGL	-	3	250	9,8	645	85	449	34	217	2	12	29808	234	4630	6,5	100	0	25	4	0	0	0	0	0
9	110	40	40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	DHL	-	3	565	11,8	469	77	376	20	169	3	1	35927	537	6051	6,8	100	0	79	7	17	4	0	0	0
10	70	10	0-20	leem, sterk zandig, bv	AP	BGL/DHL	-	5	514	10,2	346	65	293	16	105	10	21	18440	128	953	5,2	100	0	209	12	26	2	0	0	0
11	80	20	20-35	leem, sterk zandig, ger.	B	VHL	++	6	993	18,2	491	97	370	24	162	9		33240								60	42	17	0	
			35-45	leem, sterk zandig, ger.	B	VHL/SCHL	-	4	291	14,2	793	118	577	48	269	6	10	22832	277	4434	6,4	100	0	117	7	0	0	0	0	0
12	100	35	30-40	leem, sterk zandig, insp.	BC	VHL	++	5	1193	16,5	238	59	252	11	102	7	7	28037	507	7039	6,1	100	1	427	12	39	30	17	0	0
			40-50	leem, sterk zandig, insp.	BC	DHL	-	4	148	13,0	498	101	853	24	194	6		34509								0	0	0	0	0
13	120	50	30-40	zand, sterk siltig, insp.	B	GHL	-	3	730	7,9	320	43	288	16	115	3	9	20198	4472	5714	6,0	100	1	352	11	14	8	0	0	0

Er is sprake van een kansrijk gebied waarbij lokaal ontwikkeling vanuit de huidige toplaag plaats kan vinden (indien reeds voedselarm maar soortenarm: zode verwijderen en maaisel opbrengen) of een beperkte ontgroning van circa 15-20 cm volstaat. Op locaties 5, 8, 9, 11, 12 en 13 zijn forsere maatregelen nodig. Aangezien er sprake is van (zeer) natte omstandigheden is het van de belang de in te richten gebieden ook hydrologisch te optimaliseren voor de ontwikkeling van de beoogde doeltypen. Vanwege de ijzergebonden fosfaatvoorraad in de bodem is droogval van de toplaag in de zomerperiode en doorstroming essentieel.

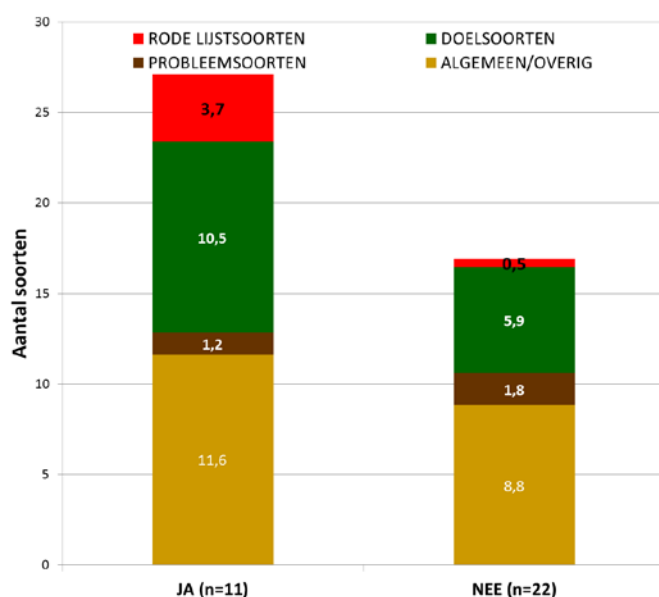
De op basis van het bodemchemisch onderzoek geadviseerde verschrallingsmaatregelen worden ruimtelijk weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10. Overzicht van het ontgrondingsadvies op basis van het bodemchemisch onderzoek. De ontgrondingsdiepte wordt gegeven in cm's-mv.

4.4 Aanvullende maatregelen

De eerste jaren na de het afgraven van de voedselrijke toplaag dient maaibeheer plaats te vinden om de ontwikkeling en uitbreiding van algemene/ruigte soorten te beperken. Doordat vaak vele zaden aanwezig zijn kunnen deze algemene soorten, ook onder P-arme condities, tot ontwikkeling komen. Door middel van een maaibeheer en het aanbrengen van maaisel of plagsel kan de groei van ongewenste algemene soorten worden onderdrukt. Opgemerkt dient te worden dat de lokale ontwikkeling van ruigtes op zichzelf niet nadelig is en zelfs kan bijdragen aan de diversiteit van een gebied. Vlinders, sprinkhanen, vogels en kleine zoogdieren kunnen hiervan profiteren.



Figuur 11. Links: resultaten van een ontgrondingsevaluatie, uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE in 2014 en 2015. Op 33 locaties zijn vegetatieopnames gemaakt in gebieden waar door middel van ontgronding (minimaal 4 jaar geleden) voedselarme condities zijn gecreëerd op voormalige landbouwgronden ten behoeve van schraallandontwikkeling. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen locaties waar wel (11 locaties) en geen (22 locaties) herintroductie, door middel van het opbrengen van maaisel na ontgronding, heeft plaatsgevonden. De soorten zijn verdeeld over vier klassen: Rode Lijstsoorten, Doelsoorten, Probleemsoorten en Algemene/overige soorten. Bron: Onderzoekcentrum B-WARE. Rechts: Foto's van succesvolle ontwikkeling van nat schraalland met onder ander Moeraskartelblad, Blauwe zegge, Zwarte zegge, Blauwe knoop, Vetblad, Heidekartelblad, Gevlekte orchis, Welriekende nachtorchis, Brede orchis en Moeraswespenorchis door middel van het afgraven van de voedselrijke toplaag in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. Foto's: Mark van Mullekom.

Op de afgegraven locaties wordt geadviseerd om kort na afgraven (<1 jaar) maaisel/plagsel op te brengen uit goed ontwikkelde referentielocaties om kolonisatie door doelsoorten te stimuleren (eventueel één of twee opeenvolgende jaren herhalen zolang de zode nog niet gesloten is). Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank vaak niets meer over. Natte, venige laagtes kunnen een uitzondering vormen. Zonder het uitstrooien van vers maaisel of plagsel uit geschikte referentiegebieden is de kans op vestiging van doelsoorten klein. Veel zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich doorgaans niet of slechts na lange tijd op de herstelde terreinen. Het herintroduceren van doelsoorten uit zo lokaal mogelijke bronnen (in verband met de genetische diversiteit en de aanpassing aan lokale omstandigheden) leidt onder de juiste bodemchemische en hydrologische omstandigheden tot een succesvol herstel van ontgronde terreinen (Figuur 11).

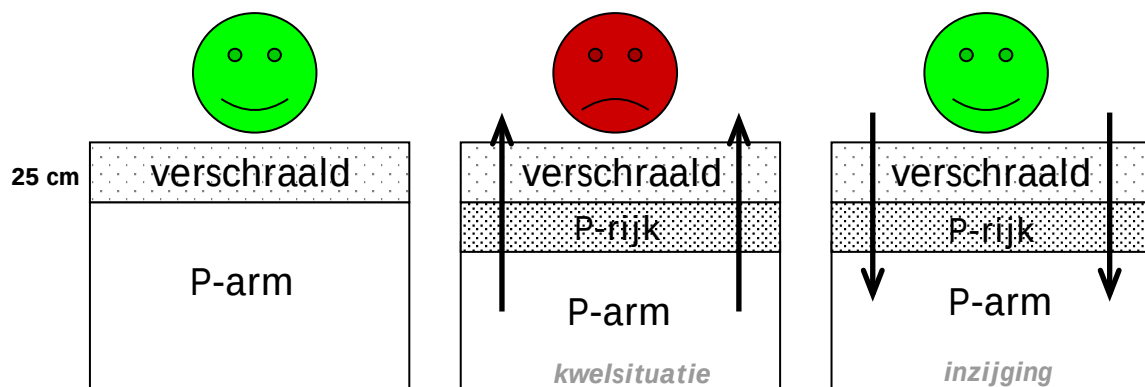
Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 11 en Figuur 12) waarbij idealiter 1 m² vers verzameld maaisel over 1(-2) m² bodem wordt verspreid. Wanneer dit niet mogelijk is, kan het maaisel in een lagere dichtheid of in kleinere over het gebied verspreide zones worden opgebracht. Wanneer vers plagsel of bodemmateriaal (indactie dichtheid: 1 m² verspreiden over 15-25 m²) uit referentielocaties wordt opgebracht (enten), wordt ook bodemleven (o.a. mycorrhiza schimmels) geïntroduceerd. Mycorrhiza schimmels zijn van belang bij de opname van nutriënten onder voedselarme omstandigheden. Daarnaast beschermen ze de kiemlingen tegen verdroging. Het aanbrengen van maaisel of plagsel

op een dichte zode is geen geschikte maatregel door het ontbreken van vestigingsplekken. Het achterwege laten van deze maatregel is zonde van de vele inspanningen die zijn gedaan om de juiste abiotische randvoorwaarden (bodem en hydrologie) te creëren voor de beoogde doelsoorten.



Figuur 12. Het uitstrooien van heideplagsel en het resultaat na vier jaar. Foto's: Michael van Roosmalen, Stichting Het Limburgs Landschap.

Op (matig) voedselrijke plekken waar niet wordt afgegraven kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunairijk grasland. 'Kruidenrijk grasland' is een breed begrip waardoor er eigenlijk geen harde streefconcentratie voor te hanteren is. Het kruidenpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet. Wanneer witboldominantie optreedt wordt geadviseerd het maaibeheer te vervroegen. De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de labiele P-fractie voldoende laag is ($P-z < 1-2 \mu\text{mol/l}$). Uit lopend onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is (circa $1000-1200 \mu\text{mol/l}$). Om verruiging te voorkomen wordt geadviseerd om de detailontwatering in stand te houden zodat de P-rijke toplaag voldoende droogvalt (voorkomen P-mobilisatie).



Figuur 13. Schematisch overzicht van verschraling waarbij in een kwelsituatie fosfaat uit een rijkere bodemlaag ($>25 \text{ cm-mv}$) naar de verschraalde toplaag getransporteerd kan worden (middelste figuur). Bij bodems die vanaf 25 cm onder maaiveld P-arm zijn (linker figuur) en bij inzijgsituaties (rechter figuur) is dit niet van toepassing.

Door middel van verschrallingsbeheer kan een bodempakket van circa 25(-30) cm worden verschraald. Op plekken waar de bodem onder de 25 cm eveneens verrijkt is met fosfaat kan, wanneer de grondwaterinvloed in het maaiveld wordt hersteld (Figuur 13), P-nalevering richting de verschraalde bodemlaag optreden. Dit zou echter kunnen leiden tot verrijking van de toplaag en verruiging of de noodzaak voor aanvullende verschralling. Onder invloed van ijzerhoudend grondwater is dit risico mogelijk klein.

Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals heischrale graslanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden is grondwaterinvloed in de wortelzone of het maaiveld vereist van circa oktober/november t/m maart/april om verzuring, de vorming van regenwaterlenzen en de ontwikkeling van zure vegetaties (op kansrijke locaties voor (zwak) gebufferde schraallande/hooilanden) tegen te gaan. Op plekken waar regenwater stagneert kunnen veenmossen gaan domineren, vooral op gebufferde bodems omdat hier veel CO₂ beschikbaar komt. Tenslotte kan inundatie met P-rijk oppervlaktewater en/of de afzetting van P-rijk slib tot verrijking en daarmee tot verruiging leiden.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Belangrijkste conclusies bodemchemie

- De bodem in het onderzoeksgebied bestaat overwegend uit een sterk zandige leembodem (lokaal met een zandige toplaag) op zand met lokaal veen in de ondergrond. De bodem is over het algemeen ijzerrijk en matig tot sterk calciumrijk.
- Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied over het algemeen relatief beperkt verrijkt is met fosfaat. Lokaal zijn de fosfaatconcentraties in de toplaag van de bodem te hoog voor de ontwikkeling van soortenrijke schrale vegetatietypen.
- Door middel van verschrallingsbeheer of een ontgronding van overwegend 15-40 cm kunnen op de meeste locaties P-gelimiteerde omstandigheden worden gecreëerd (eventueel in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer) voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurtypen. Lokaal volstaat het plaggen van de zode (mits soortenarm) om de ontwikkeling van doelsoorten (na herintroductie) mogelijk te maken. Een ontgronding dient te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem.
- Na verschralling liggen in het gebied, afhankelijk van de mate van bodembuffering en grondwaterinvloed, kansen voor de ontwikkeling van nat schraalland (kleine zeggenvegetaties en blauwgrasland) met overgangen naar vochtig hooiland (dotterbloemhooiland/veldrusschraalland).
- Op basis van het bodemchemisch onderzoek en expert judgement zijn de inrichtingsmaatregelen ruimtelijk weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11. Inrichtingsmaatregelen op basis van expert judgement, ontgrondingsdiepte in cm.

5.2 Aanbevelingen

- Na afgraving of het bereiken van de gewenste verschraling (na verwijdering van de dichte soortenarme zode) wordt geadviseerd maaisel en/of plagsel uit een referentieterrein op te brengen (eventueel één of twee opeenvolgende jaren herhalen zolang de zode nog niet gesloten is). Het achterwege laten van deze maatregel is zonde van de vele inspanningen die zijn gedaan om de juiste abiotische randvoorwaarden (zowel bodemchemisch als mogelijk hydrologisch) te creëren voor de beoogde doelsoorten.
- Voor de ontwikkeling van schraallanden en hooilanden is een maaibeheer noodzakelijk, wanneer er niet gemaaid wordt zal een elzenbroekbos ontstaan.
- Voor een optimale ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen dienen de hydrologische omstandigheden te worden geoptimaliseerd met voldoende grondwaterinvloed in de wortelzone van circa oktober t/m maart. Het hydrologische aspect maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. Uittredend grondwater en regenwater moet kunnen worden afgevoerd na de uitvoering van de vernattings- en inrichtingsmaatregelen, zodat een doorstroomsysteem ontstaat. Stagnatie dient te worden voorkomen. Geadviseerd wordt om het systeem regelbaar en klimaatbestendig te maken (regelbare stuw plaatsen bij de 'uitstroom') zodat het aflaten van water mogelijk is bij te natte winters (doorstroming reguleren) of extreme regenval in de zomer (droogval toplaag mogelijk maken).

6. LITERATUUR

- Bobbink, R., M.J. Weijters, A. van der Bij & R. van Diggelen (2016) Het belang van bodemleven bij heideherstel op voormalige landbouwgrond. *Vakblad Natuur Bos Landschap* maart: 10-13.
- Chardon, W.J. (2008) Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling. Een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1683. 25 blz; 43 ref.
- De Becker, P. (2004) Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno/Padion en Alnion incanae/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Ertsen, D., P. de Louw & J. Buma (2005) OGOR Natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.
- Klimkowska, A., R. van Diggelen, J.P. Bakker & A.P. Grootjans (2007). Wet meadow restoration in Western Europe: A quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biological Conservation* **140**: 318-328.
- Lamers, L.P.M., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H₂O* **38** (17): 28-30.
- Lamers, L., E. Lucassen, H. Tomassen, A. Smolders & J. Roelofs (2009) Verpitruising bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* **110** (1): 43-46.
- Mullekom, M. van, A. Smolders, E. Brouwer & J. Roelofs (2007) Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse Veen. Rapport B-WARE Research Centre, Nijmegen.
- Mullekom, M. van, F. Smolders, E. Brouwer, W. Geraedts & J. Roelofs (2009) Herstel van schraalgraslanden in het Hierdense beekdal. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **6**: 2-7.
- Mullekom, M. van & F. Smolders (2012) Bodemchemisch onderzoek Gooiermars. Onderzoek naar de natuurontwikkelingsmogelijkheden op voormalige landbouwgronden. Rapport 2012.34, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Weijters, H.B.M. Tomassen, R. Bobbink, A.J.P. Smolders (2013) Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* **114**: 120-126.
- Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Department of Agriculture* circular No. 939.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **3**(4): 5-11.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* **110**: 33-38.
- Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **1**: 12-15.
- Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2016) Phytoextraction of soil phosphorus by potassium-fertilized grass-clover swards. *Journal of Environmental Quality* **45**: 701-708.
- Tsiafouli, M.A., E. Thébault, S.P. Sgardelis, P.C. de Ruiter, W.H. van der Putten, K. Birkhofer, L. Hemerik, F.T. de Vries, R.D. Bardgett, M.V. Brady, L. Bjornlund, H.B. Jørgensen, S.

Christensen, T. D' Hertefeldt, S. Hotes, W.H.G. Hol, J. Frouz, M. Liiri, S.R. Mortimer, H. Setälä, J. Tzanopoulos, K. Uteseny, V. Pižl, J. Sary, V. Wolters & K. Hedlund (2015) Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* **21**: 973-985.

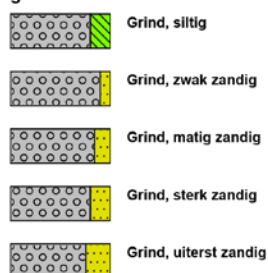
7. BIJLAGEN

Bijlage 1. Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties nabij Beesels Broek. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door het Veldwerkbureau (Jan Vermeer).

Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

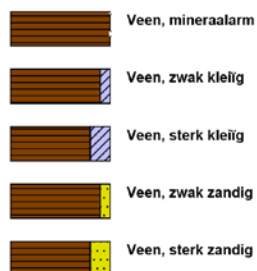
grind



zandtest



veen



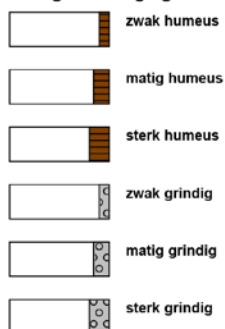
klei



leem



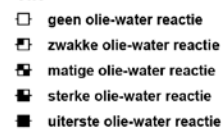
overige toevoegingen



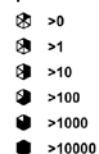
geur



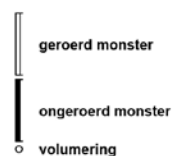
olie



p.i.d.-waarde



monsters



overig

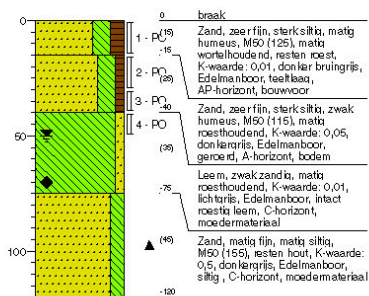




Boring: B01

X: 201447,00
Y: 363991,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 50
GHG: 0
GLG: 70

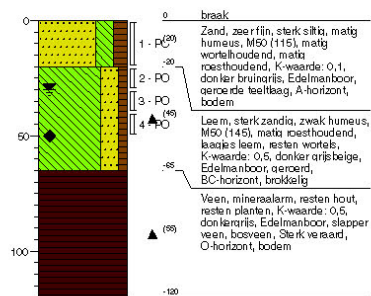
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B02

X: 201535,97
Y: 363202,05
Datum: 03-07-2018
GWS: 30
GHG: 0
GLG: 50

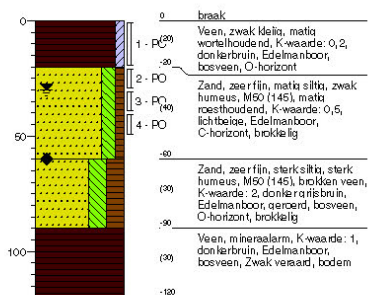
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B03

X: 201336,96
Y: 362941,46
Datum: 03-07-2018
GWS: 30
GHG: 0
GLG: 60

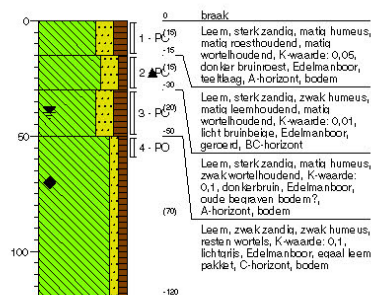
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B04

X: 201462,33
Y: 363213,33
Datum: 03-07-2018
GWS: 40
GHG: 0
GLG: 70

Boormeester Jan Vermeer

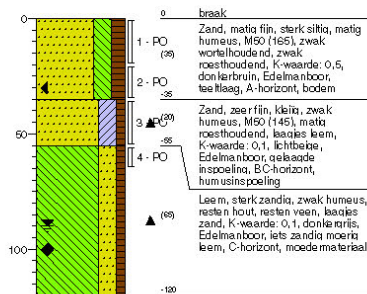




Boring: B05

X: 201355,10
Y: 362831,06
Datum: 03-07-2018
GWS: 90
GHG: 30
GLG: 100

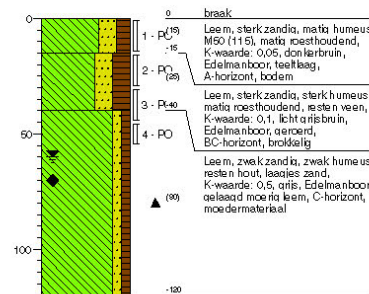
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B06

X: 201283,73
Y: 362928,13
Datum: 03-07-2018
GWS: 60
GHG: 0
GLG: 70

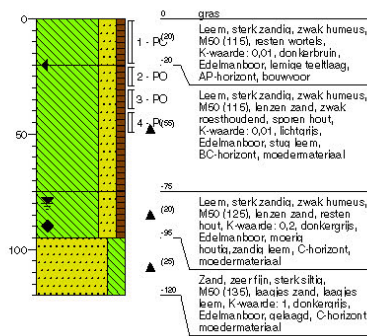
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B07

X: 201128,00
Y: 362891,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 80
GHG: 20
GLG: 90

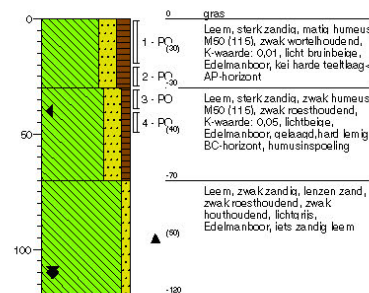
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B08

X: 201020,00
Y: 362945,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 110
GHG: 40
GLG: 110

Boormeester Jan Vermeer

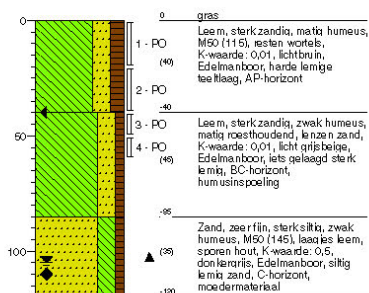




Boring: B09

X: 201043,00
Y: 362839,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 105
GHG: 40
GLG: 110

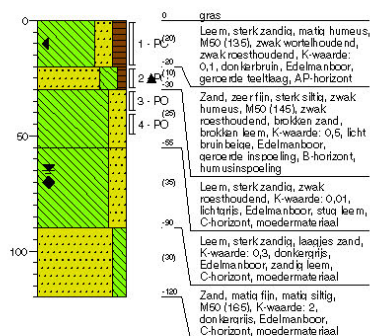
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B10

X: 201053,00
Y: 362880,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 85
GHG: 10
GLG: 70

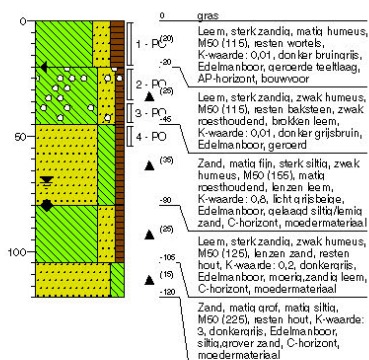
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B11

X: 200895,00
Y: 362689,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 70
GHG: 20
GLG: 80

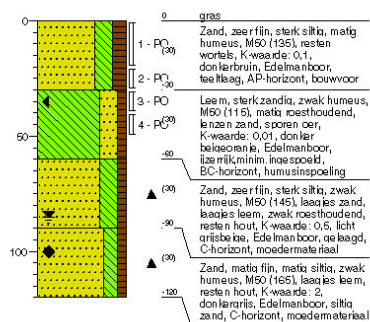
Boormeester Jan Vermeer



Boring: B12

X: 200820,00
Y: 362627,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 85
GHG: 35
GLG: 100

Boormeester Jan Vermeer





Boring: B13

X: 200841,00
Y: 362555,00
Datum: 03-07-2018
GWS: 110
GHG: 50
GLG: 120

Boormeester Jan Vermeer

