



BODEMCHEMISCH ONDERZOEK VOORMALIGE LANDBOUWGRONDEN KROMHURKEN



- Eindrapportage -

Opdrachtgever: Waterschap de Dommel • Auteurs: Amber Visscher, Mark van Mullekom & Fons Smolders • Projectnummer: PR-18.096 • Rapportnummer: RP-18.096.18.42 • Datum: 3-10-2018

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK VOORMALIGE LANDBOUWGRONDEN KROMHURKEN

Eindrapportage

*Amber Visscher
Mark van Mellekom
Fons Smolders*



Titel rapport:

Bodemchemisch onderzoek voormalige landbouwgronden Kromhurken

Auteurs:

Amber Visscher, Mark van Mullekom & Fons Smolders

Rapportnummer: 18.096.18.42

Opdrachtgever:

Waterschap de Dommel



Informatie:

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

Contactpersoon:

Mark van Mullekom
Tel: 024-2122204
m.vanmullekom@b-ware.eu
www.b-ware.eu

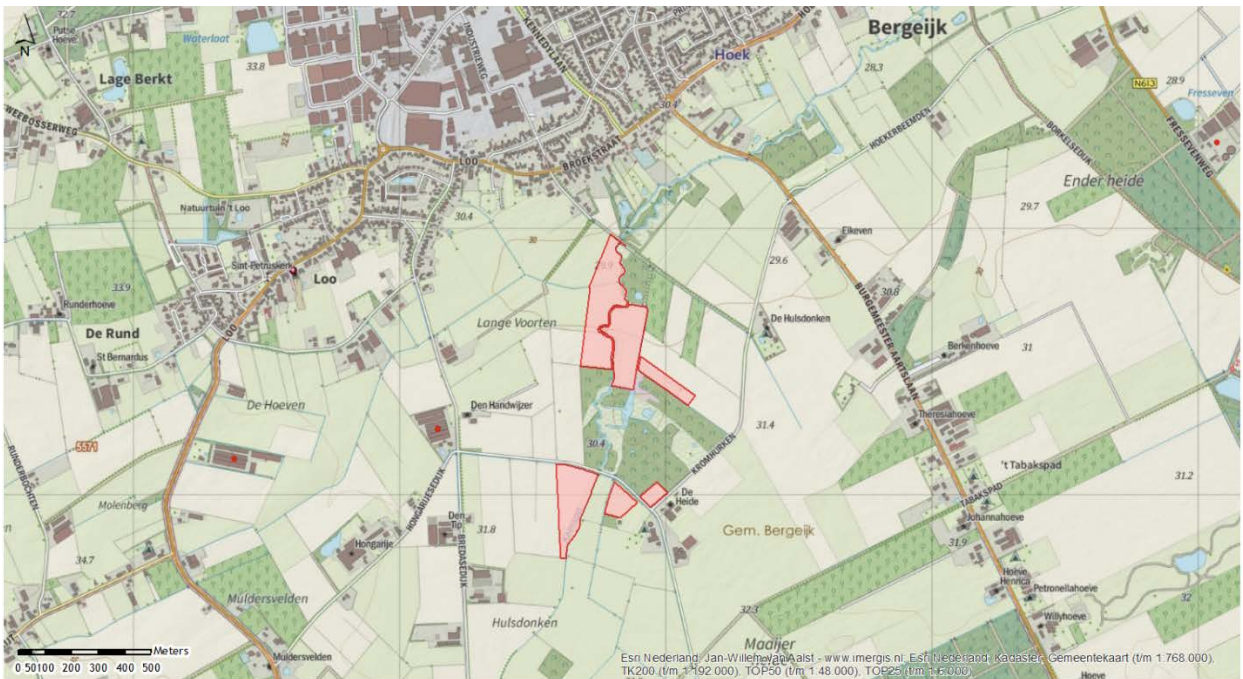
INHOUDSOPGAVE

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	12
4. Resultaten bodemchemisch onderzoek	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Bodemchemie	15
4.3 Kansen voor natuurontwikkeling	17
4.4 Aanvullende maatregelen	30
5. Conclusies en aanbevelingen	35
5.1 Belangrijkste conclusies bodemchemie	35
5.2 Aanbevelingen	36
6. Literatuur	37
7. Bijlagen	39

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Waterschap de Dommel werkt momenteel aan het project de Kromhurken aan de Keersop (Figuur 1). Het gaat om het traject tussen de Vlieterdijk en de Loverensdijk. Het project is onderdeel van het beekherstel van de Keersop. Recent is de Keersop ter hoogte van de Kromhurken veranderd van een rechte sloot in een meanderende beek. Een van de gewenste resultaten van het project 'beekherstel Keersop' is het herstel van de Natte Natuurparels in het beekdal van de Keersop. Dit gebied bestaat uit vier delen, waaronder de Kromhurken.



Figuur 1. Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied met een oppervlakte van ca. 13,5 hectare.

De eerste stap om te komen tot een projectplan Waterwet is het doorrekenen van verschillende (hydrologische) scenario's om de doelen te kunnen bereiken en vervolgens hier een keuze tussen te maken. Eén van de scenario's is het afgraven van een aantal percelen (naar de gewenste grondwaterstand toe graven). Of dit doelmatig is hangt onder meer af van de nutriënten die zich in de bodem, die nu nog agrarisch gebruikt wordt, bevinden. Onderzoekcentrum B-WARE heeft een bodemonderzoek uitgevoerd naar de diepte van het 'fosfaatfront' en de natuurpotenties. Bij het onderzoek werd de chemische bodemkwaliteit bepaald tot op een diepte van 60 cm-mv uitgevoerd.

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek

De fosfaatrijkdom van de bodem en de natuurpotenties zijn bepaald aan de hand van een bodemchemisch onderzoek. Op 12 locaties in het gebied zijn daarvoor op verschillende diepten bodemonsters verzameld en chemisch geanalyseerd. Op basis van de bodemchemische onderzoeksresultaten wordt aangegeven op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor

soortenrijke natuurtypen gerealiseerd kan worden en welke verschrallingsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Concreet worden daarbij de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat is de bodemopbouw op de boorlocaties?
2. Wat zijn de P-concentraties in de toplaag en wat is de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur (hoog ambitieniveau) of bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland (lager ambitieniveau)?
3. Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor, wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur?
4. Welke natuurpotenties zijn er op basis van de bodemchemie?
5. Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen?

Naast de bodemchemie en het bodemtype is ook de grondwaterkwaliteit en de (variatie in) grondwaterstanden van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Het (geo)hydrologische aspect maakt geen onderdeel uit van het huidige 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 fosfaattoestand en de kansrijkdom qua bodemchemie.

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 hydrologische systeem. De hoogteligging en bodemopbouw spelen hierbij een belangrijke rol. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. 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.

1.3 Leeswijzer

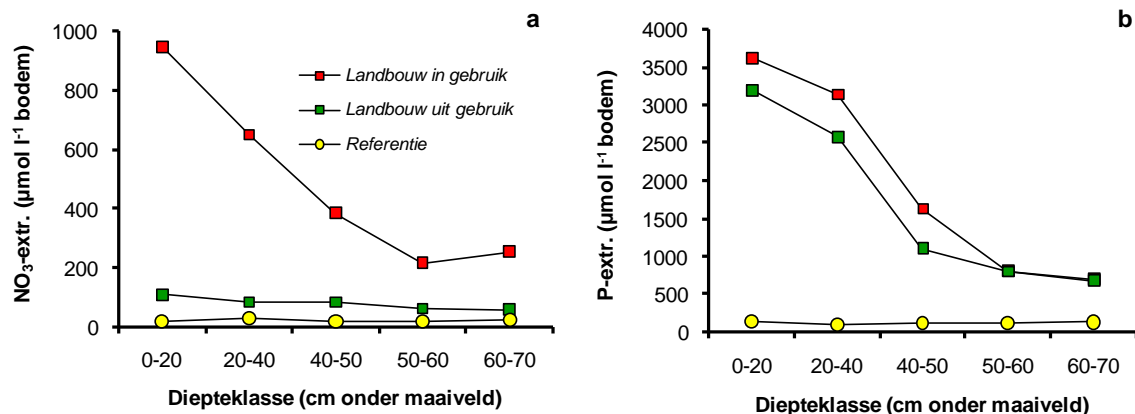
In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de problemen bij en kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden en in hoofdstuk 3 worden de toegepaste onderzoeksmethoden beschreven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het bodemchemisch onderzoek gepresenteerd en de kansen voor de natuurontwikkeling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

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 1; 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 1; 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).



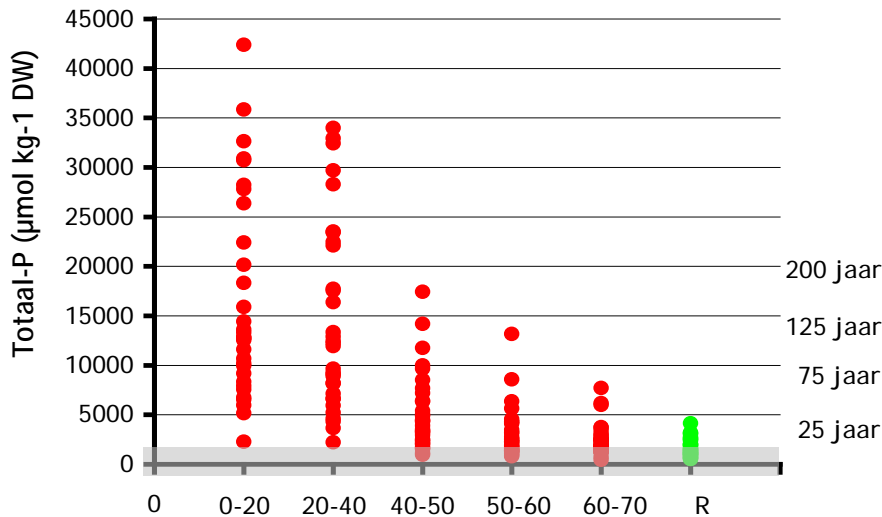
Figuur 1. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de 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 1; 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 2. 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).

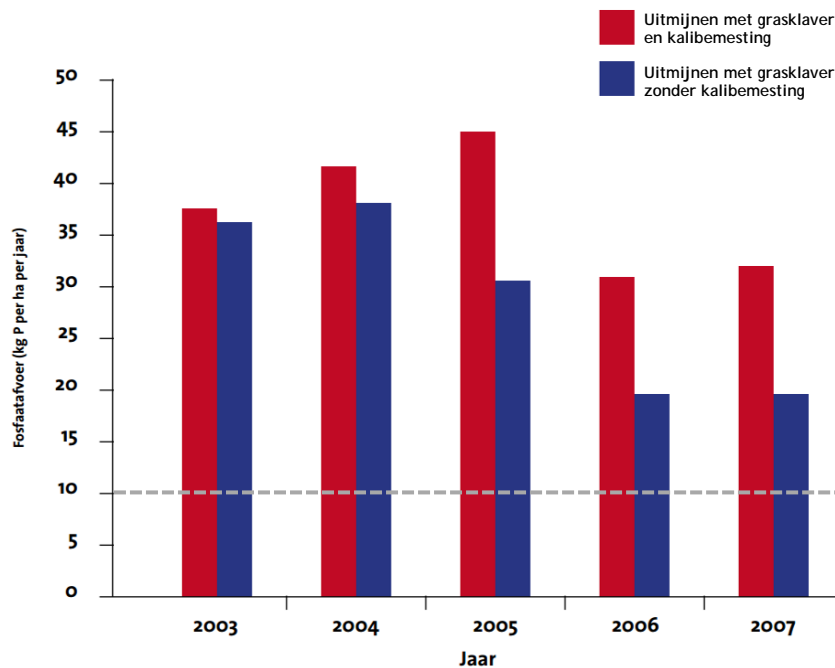
Intensief beheer met maaien en afvoeren

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 2, Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2005).

Uitmijnen

Uitmijnen is een versterkte verschraving 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 maai-beheer 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 verschravingsniveau is bereikt (van Mullekom e.a., 2013). Het uitmijnen kan versneld worden door het verwijderen van de extreem voedselrijke toplaag.



Figuur 3. 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/maaienveldverlaging) 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 verschraving 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 inzijgt 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 vermestende 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 1). 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

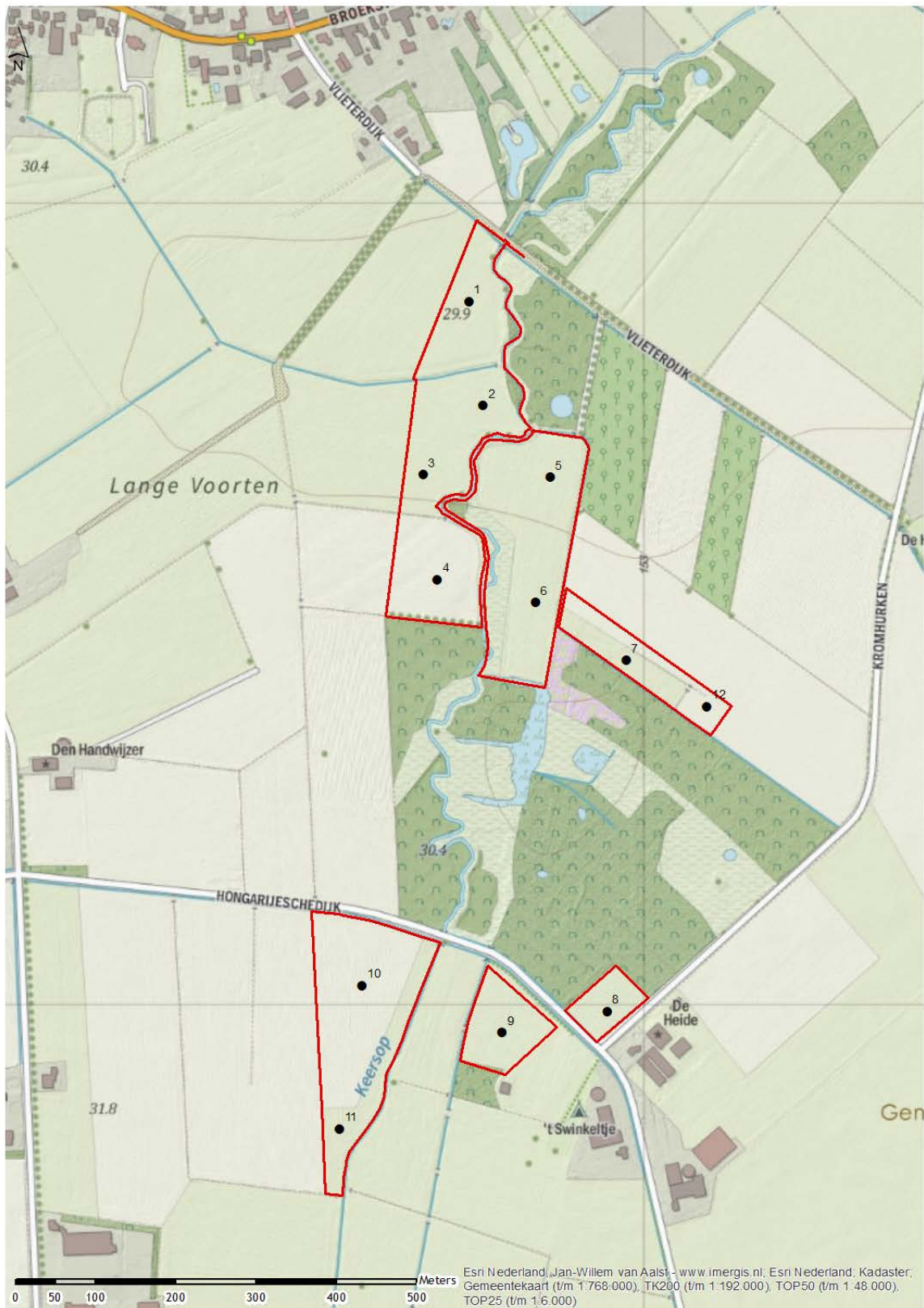
3.1 Veldwerkzaamheden

Op 28 juni 2018 werden voor het bodemchemisch onderzoek op 12 locaties ondiepe boringen (tot 150 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 4 en Figuur 5. Zie bijlage 2 voor historische kaarten van het onderzoeksgebied. 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 mogelijk ook de GHG en GLG (Tabel 1).

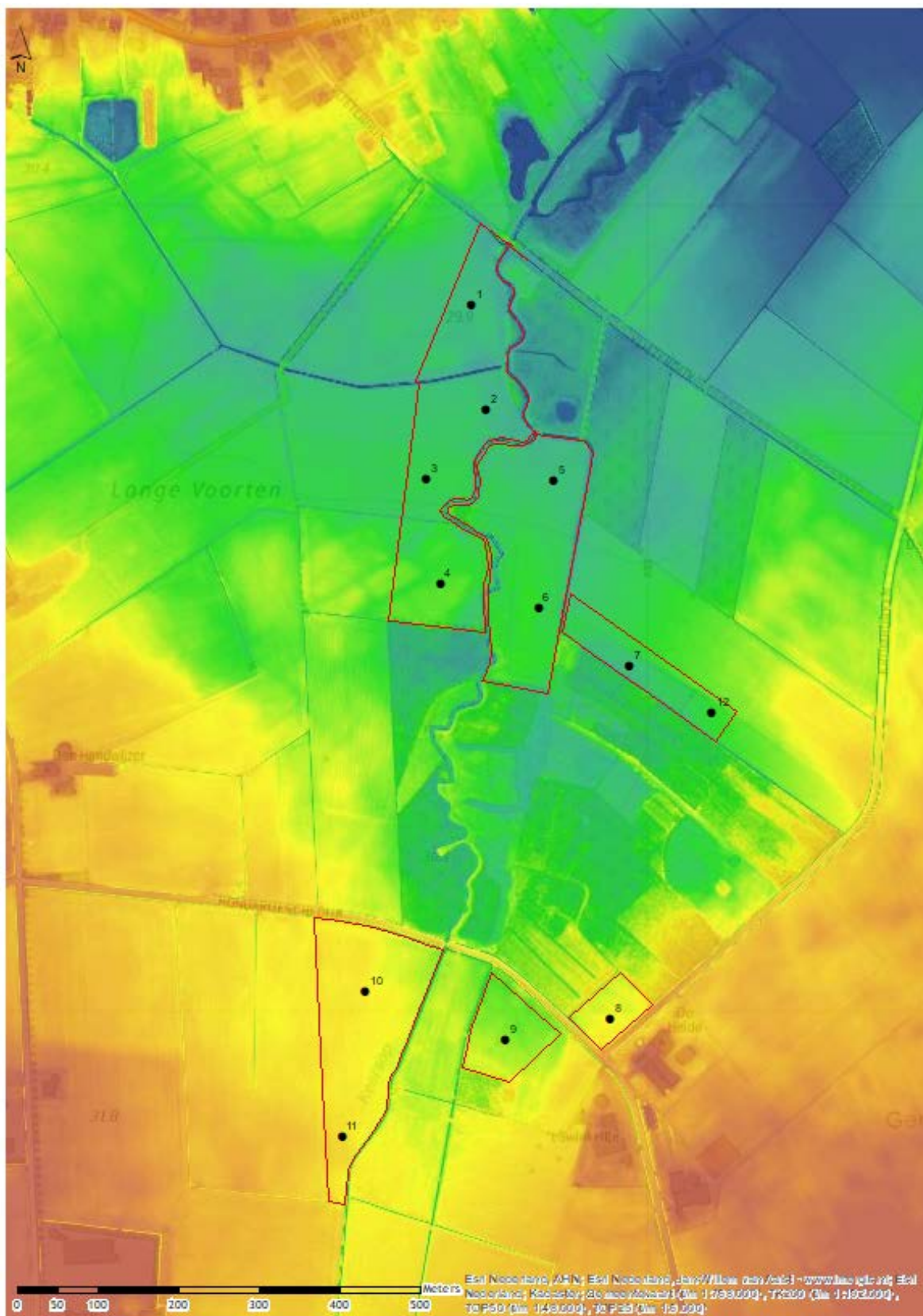
Op iedere locatie werden op 4 dieptes bodemmonsters verzameld, waarbij de volgende bemonsteringsstrategie werd gehanteerd:

- 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 bodemmonsters werden in afgesloten potten vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In totaal werden 53 bodemmonsters verzameld en geanalyseerd.



Figuur 4. Topografische kaart met de ligging van de bodemonsterlocaties (1 t/m 12).



Figuur 5. Hoogtekaart met de ligging van de bodemonsterlocaties (1 t/m 12).

Tabel 1. XY-coördinaten, landgebruik (type: GS = grasland, AK = akker, BR = braak/bestaand natuurgebied), actuele grondwaterstand (GWS; 28 juni 2018), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Voor ligging van de locaties zie Figuur 4.

Locatie	X	Y	Type	GWS	GLG	GHG
1	152781	368878	GS	120	>150	55
2	152799	368748	GS	125	>150	60
3	152724	368662	GS	120	>150	65
4	152742	368531	AK	130	>150	75
5	152882	368659	GS	130	>150	40
6	152864	368502	GS	130	140	45
7	152977	368430	BR	75	100	25
8	152953	367992	GS	85	100	20
9	152822	367966	GS	80	100	30
10	152648	368025	GS	100	110	50
11	152619	367846	GS	90	110	40
12	153078	368372	GS	100	140	75

3.2 Chemische analyse

Per bodemonmonster 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);

Drooggewicht en organisch stofgehalte en bodemdichtheid

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitglorieen werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem en plantmateriaal te destructuren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. De destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Olsenextractie

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,4 gesteld

.....
met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

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 BODEMCHEMISCH 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 concentratie 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.

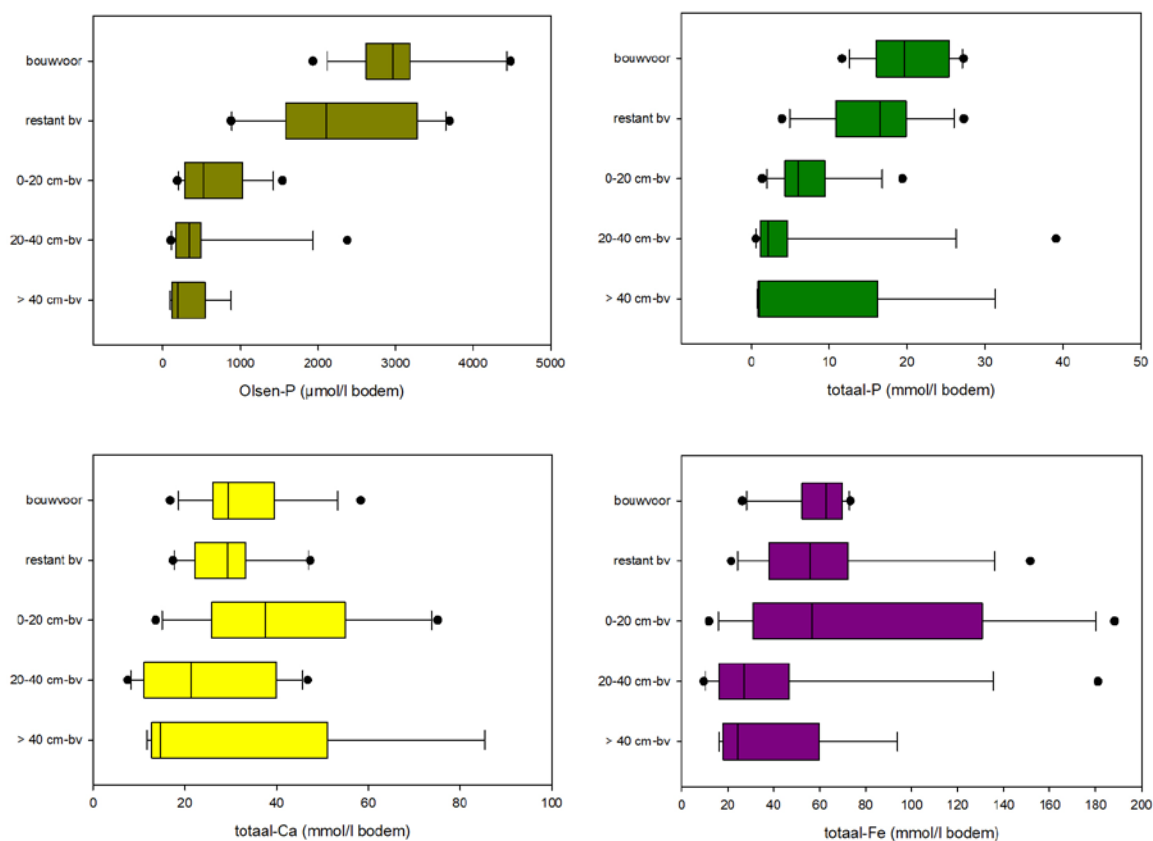
In het gebied Kromhurken werd op 12 locaties de bodemchemie van verschillende bodemlagen in beeld gebracht. In Tabel 4 wordt per locatie de bodemchemie gegeven.

De bodem in het onderzoeksgebied bestaat overwegend uit matig tot sterk siltig zand en lokaal zijn veen, klei (leem) of grindige lagen aangetroffen (Bijlage 1).



Figuur 6. Impressie van het onderzoeksgebied in Kromhurken. Foto's: Jan Vermeer.

In Figuur 7 worden boxplots gegeven van een aantal belangrijke bodemchemische variabelen op verschillende diepten. De toplaag van de bouwvoor (matig tot sterk siltig zand; dikte 20 cm) is verrijkt met plantbeschikbaar fosfaat (gemiddeld circa 3000 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P) en totaal-P (gemiddeld circa 19 mmol/l bodem) (Figuur 7). In het onderste deel van de bouwvoor is de Olsen-P en voornamelijk de totaal-P concentratie lager dan in de toplaag van de bouwvoor, er is dus een gradiënt in de bouwvoor aanwezig. De dikte van de bouwvoor is gemiddeld 35 cm. Direct onder de bouwvoor zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties fors lager dan in de bouwvoor, maar lokaal nog te hoog voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuur: lokaal is sprake van P-uitspoeling onder de bouwvoor. Op meer dan 20 cm onder de bouwvoor nemen de P-concentraties verder af.



Figuur 7. Boxplots van de Olsen-P, totaal-P, -Ca en -Fe concentraties van de geanalyseerde bodems. In de Boxplot is onderscheid gemaakt tussen de verschillende bemonsteringsdiepten: toplaag van de bouwvoor 0-20 cm (n=12), restant bouwvoor (n=11), 0-20 cm onder de bouwvoor (n=12), 20-40 cm onder de bouwvoor (n=13) en >40 cm onder de bouwvoor (n=5). 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.

De bodem is zwak tot sterk ijzerhoudend met een gemiddelde concentratie van (57 mmol/l totaal-Fe). De ijzerconcentraties variëren van 10 tot 188 mmol/l totaal-Fe. De meeste ijzerrijke bodemlagen zijn aangetroffen op locatie 4 en 5 (± 35 -50/50-65 cm-mv) met concentraties van circa 160-190 mmol/l totaal-Fe. De laagste concentraties zijn aangetroffen in voornamelijk diepere zandlagen. Hoge ijzerconcentraties duiden op (voormalige) invloed van ijzerrijke kwel of afzettingen van ijzerrijk zand/slib. IJzer(hydr)oxides binden goed fosfor, waardoor dit in ijzerrijke bodems eenvoudig kan accumuleren.

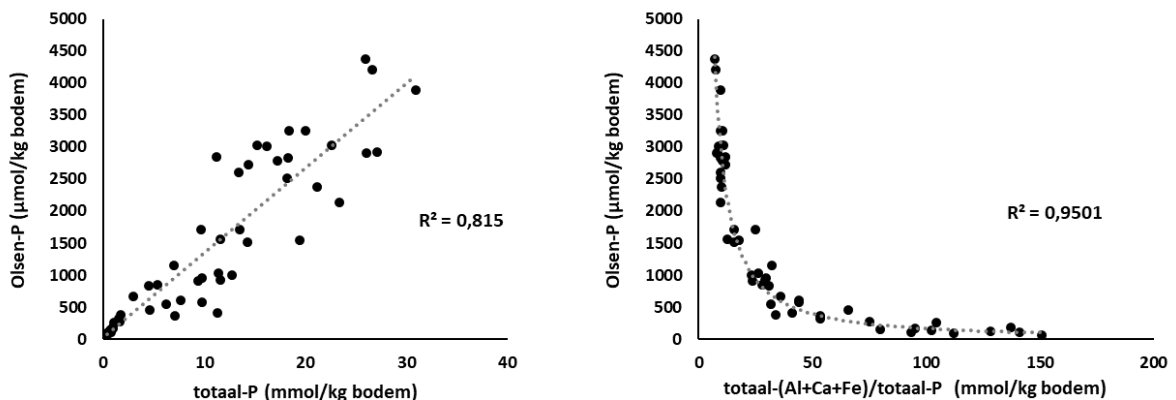
De bodem in het onderzoeksgebied is zwak tot matig calciumhoudend met een gemiddelde concentratie van 31 mmol/l totaal-Ca. De concentratie totaal-Ca is gemiddeld iets hoger net onder de bouwvoor in vergelijking met de lagen in de bouwvoor (Figuur 7). De hogere concentraties in de laag direct onder de bouwvoor kan het gevolg zijn van de invloed van gebufferd grondwater of uitspoeling van kalk aangebracht tijdens het landbouwkundig gebruik om de pH, en daarmee de productie, te optimaliseren. Daarnaast kan ontkalking van de bouwvoor hebben plaatsgevonden als gevolg van zuurvormende oxidatieprocessen (bijvoorbeeld oxidatie van ammonium).

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. Metingen van de concentraties nitraat en ammonium maken geen onderdeel uit van dit onderzoek.

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 1).

Bodemcorrelaties

In Figuur 8 (links) zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van de bodems tegen elkaar uitgezet. De P-beschikbaarheid is gemiddeld 14,5%. Twee bodemlagen vormen een uitzondering met een lagere P-beschikbaarheid. Dit komt zeer waarschijnlijk door de hoge concentratie ijzer in de betreffende bodemlagen. Tevens is één van de betreffende bodemlagen een veenlaag, alle veenlagen hebben in verhouding een lage P-beschikbaarheid (6,0 %) ten opzichte van de andere bodemlagen (15,4 %). Om vertekening van het beeld te voorkomen zijn de twee afwijkende bodemlagen uit de onderstaande correlaties gehouden. De concentratie Olsen-P in de bodem is echter niet alleen afhankelijk is van de concentratie totaal-P in de bodem. Fosfor wordt in bodems namelijk 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 anaerobe condities) en FePO_4 onder aerobe 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/leem deeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder. De calcium-, ijzer- en aluminiumconcentraties kunnen de beschikbaarheid van fosfaat dus beïnvloeden. In Figuur 8 (rechts) is deze correlatie weergegeven. Op plaatsen waar de bodem rijk is aan ijzer, calcium en aluminium ten opzichte van totaal-P, blijft de P-beschikbaarheid voor planten doorgaans laag.



Figuur 8. Correlaties tussen enkele relevante bodemchemische variabelen in Kromhurken.

4.3 Kansen voor natuurontwikkeling

Doel van het huidige onderzoek is om de natuurontwikkelingskansen op een aantal agrarische percelen te bepalen. De kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden worden sterk bepaald door de Olsen-P en totaal-P concentraties in de bodem (zie Hoofdstuk 2). In deze paragraaf worden per monsterlocatie de belangrijkste bodemchemische variabelen kort toegelicht. 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).

In het huidige onderzoek is de mate van buffering van de bodem alleen bepaald aan de hand van de totale calciumconcentratie. Vanwege het ontbreken van de concentraties zoutuitwisselbaar calcium (Ca-z) kan slechts indicatief aangegeven worden welk natuurbeheertype tot ontwikkeling kan komen.

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 ammoniumophoping/-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, ammoniumophoping en/of vergroten soortenrijkdom	Risico ammoniumtoxiciteit zonder bekalking
				N07.01 N06.04	N11.01 N06.04	N10.01	N10.01	N10.02	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	Veldrusschraalland	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			

Op locaties waar sprake is van calciumarme omstandigheden wordt een eenmalige bekalking geadviseerd. Deze dient ter voorkoming van verzuring en ter bevordering van de soortenrijkdom.

Tevens wordt hiermee ammoniumophoping/-toxiciteit voorkomen (nitrificatie wordt geremd onder zure omstandigheden).

Natuurbeheertypen

Welke natte natuurbeheertypen zich daadwerkelijk in het gebied kunnen ontwikkelen is naast de voedselrijkdom van de bodem en de mate van buffering van de bodem afhankelijk van 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 voor de natuurontwikkelingskansen.

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 (umol/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	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	40- tot 120 - 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)
	Moeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Rietmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 40- 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)

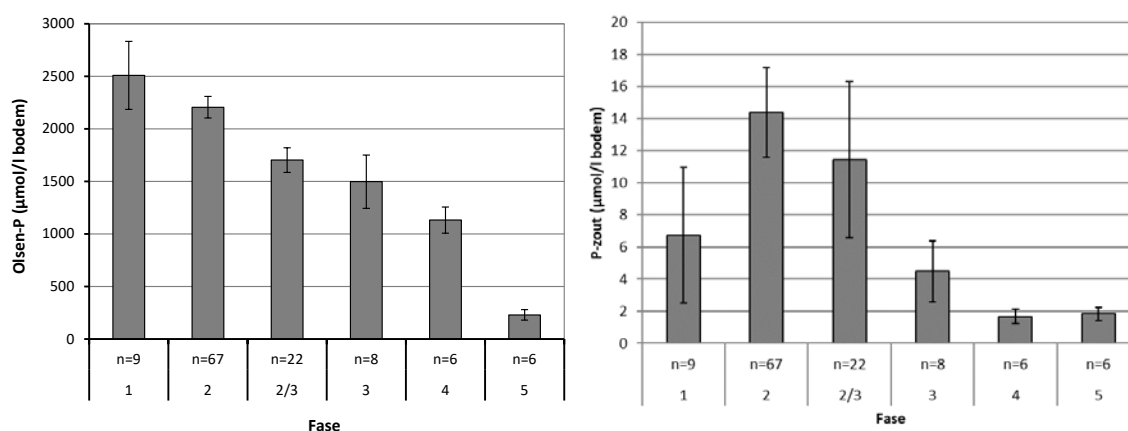
Verschrallingsduur

Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied als gevolg van het landbouwkundig gebruik verrijkt is met fosfaat. Om soortenrijke natuurtypen tot ontwikkeling te kunnen laten komen, is een verschrallingsbeheer noodzakelijk om de fosfaatbeschikbaarheid te reduceren. Verschralling kan plaatsvinden door maaien en afvoeren, uitmijnen of het verwijderen van de fosfaatrijke toplaag. Om te kunnen bepalen of verschralling 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 verschrallingsduur berekend worden.

De verschrallingsduur voor maaien en afvoeren is berekend op basis van 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 ($((0,5/10) \times 100)$). 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 ($((0,5/5) \times 100)$). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de verschrallingsperiode gelijk blijft. Wanneer we hiervoor zouden corrigeren (veranderende (Ca+Fe)/P-ratio) valt de verschrallingsduur 10-20% lager uit. Het is echter te verwachten dat de effectiviteit van de verschralling in de laatste fase afneemt, waardoor de P-afvoer van 10 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschrallingsduur eerder hoger uit zou vallen. De gehanteerde formule lijkt overall dan ook een goed beeld te geven van de indicatieve verschrallingsduur. Verder is de ondergrens voor de totaal-P streefconcentratie gesteld op 3 mmol/l. Voor uitmijnen kan de verschrallingsduur op dezelfde wijze berekend worden, maar dan wordt uitgegaan van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar (Figuur 3). 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 Tabel 4 wordt de berekende verschrallingsduur via maaien en afvoeren voor iedere locatie en diepte gegeven. De verschrallingsduur via maaien en afvoeren is 4 keer zo lang als de duur via uitmijnen. 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.



Figuur 9. Olsen-P (links) en P-z (rechts) concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem van graslandpercelen in Overijssel ingedeeld per graslandfase naar Schippers e. a. (2012). Verklaring graslandfasen (van voedselrijk naar schraal): fase 1 = raaigraslanden, fase 2 = witbolgraslanden, fase 3 = gras-kruidentmix, fase 4 = kruidentrijk grasland en fase 5 = heischraal grasland. Bron: Scherpenisse e. a. (2016).

In de toelichting worden per monsterlocatie de kansen voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuur beschreven. Wanneer de vereiste inrichtingsmaatregelen voor deze doeltypen te ingrijpend of niet te realiseren zijn kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruident- en faunairijk grasland. Uit recent onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruident- en faunairijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is ($<1000\text{-}1200 \mu\text{mol/l}$; Figuur 9). Dit is slechts een indicatieve streefwaarde: 'kruidentrijk grasland' is een breed begrip waardoor er geen harde streefconcentratie voor te hanteren is. Het kruidentpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer

wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet. De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de labiele P-fractie voldoende laag is ($P-z < 1-2 \mu\text{mol/l}$). Om op rijkere gronden dominantie van witbol tegen te gaan en de ontwikkeling van kruidachtigen te stimuleren wordt geadviseerd jaarlijks vroeg te maaien.

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 ook te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. 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.

Voor de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt een Olsen-P streefconcentratie van (<)500-800 $\mu\text{mol/l}$ gehanteerd en voor een schraalgrasland wordt (<)300-500 $\mu\text{mol/l}$ gehanteerd. Voor deze grondwaterafhankelijke natuurtypen is het van belang dat de hydrologische omstandigheden worden geoptimaliseerd. Goed ontwikkelde kruiden- en faunarijke graslanden komen over het algemeen voor bij Olsen-P concentraties van (<)1000-1200 $\mu\text{mol/l}$.

Tabel 4. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) in locatie 1 t/m 12. GWS = actuele grondwaterstand (op 28 juni 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, 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 concentraties zijn weergegeven in $\mu\text{mol/l}$ verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Fe-t	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	mmol/l	jaren	
<5	<150	<10	<20	0	voldoende P-arm
6-10	151-250	11-20	21-50	<10	kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	51-100	11-40	matig kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	401-750	31-50	101-150	41-80	kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
>50	>750	51-80	151-300	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
		>80	>300	201-400	ongeschikt voor verschraling I
				>400	ongeschikt voor verschraling II

Bodemchemisch onderzoek voormalige landbouwgronden Kromhurken
RP-18.096.18.42

Nr	Type	GWS	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	M3	M5	M8	M12
1	GS	120	>150	55	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	6	13	1,0	4313	27,2	0,16	110	32	60	3	4	12	7	152	151	139	123
					20-40	zand, matig siltig, bv	Aan	5	16	1,1	3434	21,2	0,16	116	28	65	4	3	10	6	114	113	101	86
					40-55	zand, matig siltig, bv	Aan	5	19	0,9	1581	12,6	0,13	95	28	72	8	2	9	6	45	40	29	14
					55-75	zand, sterk siltig	A	4	20	1,1	1033	10,8	0,10	111	35	111	13	3	13	10	48	35	15	0
					75-85	zand, humusinsp.	B	2	13	1,5	1274	7,0	0,18	121	29	67	14	5	26	7	13	13	8	1
2	GS	125	>150	60	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	5	12	1,0	4483	26,6	0,17	95	27	69	4	4	11	7	148	148	137	122
					20-40	zand, matig siltig, bv	AP	5	15	1,1	1910	10,8	0,18	98	22	152	16	2	9	5	49	49	39	25
					40-60	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	6	22	1,0	1162	7,0	0,17	71	18	137	22	1	6	5	25	25	14	0
					60-70	zand, matig siltig, ger. humusinsp.	B	3	17	1,2	472	2,1	0,22	45	10	17	13	1	6	5	0	0	0	0
3	GS	120	>150	65	0-20	zand, sterk siltig, bv	AP	6	19	1,1	3146	20,4	0,15	100	34	67	5	3	13	9	109	107	95	79
					20-40	zand, sterk siltig, bv	AP	4	17	1,1	1725	12,8	0,13	89	30	46	6	3	11	6	61	57	43	24
					40-65	zand, sterk siltig	A	4	18	1,1	924	5,8	0,16	94	24	45	12	2	9	4	22	21	6	0
					65-75	zand, matig siltig, humusinsp.	B	2	8	1,5	469	2,4	0,20	87	14	27	17	3	13	2	0	0	0	0
4	AK	130	>150	75	0-20	zand, bv	AP	5	14	1,0	2800	14,8	0,19	92	17	65	5	4	9	8	74	74	66	53
					20-35	zand, bv	AP	5	15	1,1	3281	16,5	0,20	98	19	68	5	4	10	8	63	63	59	49
					35-50	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	7	24	1,0	990	10,2	0,10	107	35	162	19	4	13	10	33	24	9	0
					50-65	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	9	30	0,9	502	5,8	0,09	87	44	53	17	3	20	13	11	0	0	0
					65-75	zand, matig siltig, inspoeling	B	2	18	1,4	215	1,2	0,19	59	17	16	29	4	10	5	0	0	0	0
5	GS	130	>150	40	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	5	10	1,0	2987	26,7	0,11	106	42	70	4	3	10	7	148	139	122	100
					20-35	zand, matig siltig, bv	AP	5	11	1,0	2942	27,3	0,11	113	46	74	4	3	10	8	114	106	93	76
					35-50	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	6	17	1,0	1538	19,4	0,08	109	44	188	12	3	12	6	73	61	44	20
					50-65	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	7	23	1,0	2378	39,1	0,06	104	47	181	6	4	16	8	160	145	122	91
					65-75	bosveen	O	36	63	0,4	878	31,3	0,03	53	85	94	6	2	12	24	64	42	9	0
6	GS	130	140	45	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	6	8	0,9	2576	15,9	0,16	85	27	53	5	2	7	6	81	80	69	53
					20-30	zand, matig siltig, bv	AP	5	10	1,0	2513	18,2	0,14	92	31	56	5	2	7	5	48	46	39	30
					30-45	klei, uiterst siltig, sterk humeus	A	26	45	0,6	377	4,8	0,08	100	46	66	23	1	8	9	5	0	0	0
					45-55	klei, sterk zandig, inspoeling	B	18	39	0,8	341	3,5	0,10	152	37	40	22	4	14	11	1	0	0	0
					55-65	zand, matig siltig, inspoeling	BC	2	17	1,5	272	1,5	0,18	145	21	40	41	6	23	4	0	0	0	0
7	BR	75	100	25	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	15	32	0,7	2735	21,7	0,13	81	58	71	6	3	13	21	117	111	96	76
					20-40	zand, matig siltig, bv	AP	21	40	0,6	932	8,8	0,11	54	47	38	10	2	9	13	36	26	8	0
					40-60	bosveen, sterk veraard	O	19	52	0,5	551	6,1	0,09	64	71	26	16	2	12	24	17	4	0	0
					60-70	zand	C	4	29	1,0	103	0,5	0,19	30	9	11	38	3	5	5	0	0	0	0
8	GS	85	100	20	0-20	zand, sterk siltig, bv	AP	4	17	1,2	3192	16,5	0,19	103	26	32	4	4	10	6	84	84	77	64
					20-35	zand, sterk siltig, bv	AP	6	21	1,2	3697	19,9	0,19	106	33	36	3	4	11	7	79	79	73	63
					35-55	zand, matig siltig, inspoeling	BC	2	18	1,3	333	1,4	0,24	106	14	25	28	6	13	4	0	0	0	0
					55-65	zand	C	2	18	1,4	127	0,7	0,18	56	7	16	33	4	8	3	0	0	0	0
9	GS	80	100	30	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	4	6	1,0	2947	11,6	0,25	87	23	26	4	3	14	9	54	54	53	43
					20-30	zand, matig siltig, bv	AP	2	7	1,3	878	3,9	0,22	102	17	22	10	3	13	4	3	3	1	0
					30-40	veen, veraard	O	46	71	0,3	264	3,4	0,08	36	30	12	13	2	9	38	0	0	0	0
					40-60	zand, matig siltig, inspoeling	BC	2	19	1,3	224	1,3	0,17	83	14	26	31	6	14	9	0	0	0	0
					60-70	zand, matig siltig, inspoeling	BC	2	19	1,3	224	1,3	0,17	83	14	26	31	6	14	9	0	0	0	0
10	GS	100	110	50	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	6	11	0,8	2540	18,9	0,13	91	29	73	5	2	11	7	100	95	81	62
					20-40	zand, matig siltig, bv	AP	6	14	0,9	2103	18,7	0,11	101	29	56	5	3	11	7	98	89	72	50
					40-60	bosveen, sterk veraard	O	52	60	0,5	184	5,1	0,04	82	75	53	25	2	14	17	0	0	0	0
					60-75	bosveen, sterk veraard	O	36	66	0,4	138	2,7	0,05	91	43	10	20	4	12	22	0	0	0	0
					75-85	zand, sterk siltig, inspoeling	B	4	24	1,2	137	1,0	0,14	100	15	26	41	7	16	6	0	0	0	0
11	GS	90	110	40	0-20	zand, kleilig, bv	AP	6	10	0,9	1935	21,1	0,09	103	41	61	5	3	14	7	112	98	77	50
					20-40	bosveen, sterk veraard	O	23	45	0,5	494	6,2	0,08	67	58	54	18	2	17	15	15	0	0	0
					40-60	grind, sterk zandig, inspoeling	BC	7	21	1,3	344	2,1	0,16	108	24	28	24	8	19	9	0	0	0	0
					60-70	grind, sterk zandig, inspoeling	BC	2	18	1,3	191	1,0	0,19	68	14	20	34	6	12	5	0	0	0	0
12	GS	100	140	75	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	7	15	0,9	3026	17,1	0,18	99	30	52	5	5	20	10	88	88	79	65
					20-40	bosveen, sterk veraard	O	38	53	0,4	241	4,2	0,06	84	40	59	24	4	20	15	0	0	0	0
					40-60	zand, matig siltig, inspoeling	BC	1	17	1,5	185	1,0	0,19	90	12	25	38	6	16	3	0	0	0	0
					60-70	zand, matig grindig	C	1	13	1,7	95	0,8	0,12	81	12	25	47	6	17	3	0	0	0	0

Locatie 1 (GLG >150 cm-mv; GHG 55 cm-mv)

De 60 cm dikke zandige bouwvoor is matig calcium- en ijzerhoudend (totaal-Ca: 28-32 mmol/l en totaal-Fe: 60-72 mmol/l). De toplaag (0-20 cm-mv) en de middenlaag (20-40 cm-mv) van de bouwvoor zijn sterk verrijkt met fosfaat (respectievelijk: Olsen-P: 4313 en 3434 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 27,2 en 21,2 mmol/l). Na afgraven van 40 cm van de bouwvoor komt een minder fosfaatrijke onderlaag van de bouwvoor (40-55 cm-mv) aan het oppervlak. De bodem is dan nog steeds te rijk aan fosfaat (Olsen-P: 1581 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 12,6 mmol/l) voor de beoogde natuurontwikkeling (fors aanvullend verschrallingsbeheer vereist) en het risico op verzuivering is zeer groot. Pas bij het verwijderen van 55 cm grond is de fosfaatconcentratie dusdanig laag (Olsen-P: 1033 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 10,8 mmol/l) dat de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland mogelijk is. Droogval van de toplaag (tenminste in de zomer) is essentieel om P-mobilisatie en verzuivering te voorkomen. Pas indien aanvullend 40-55 jaar maaien en afvoeren wordt toegepast is de ontwikkeling van een schraalgrasland (Olsen-P streefconcentratie 300-500 $\mu\text{mol/l}$) mogelijk.

Advies: Doelen bijstellen of na afgraven van 40 cm met beperkt verschrallingsbeheer inzetten op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland of 55 cm (erg fors) afgraven met aanvullend maai- en afvoerbeleid (ca. 40-55 jaar maaien en afvoeren of circa 10 jaar uitmijnen, zie paragraaf 2.3) voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland (let op: risico op verzuivering in de vorm van Pitrusontwikkeling is groot onder vochtige, voedselrijke omstandigheden). Alternatief: additie ijzerkalkslib als aanvullende verschrallingsmaatregel na 40 cm afgraven (paragraaf 4.4).

Locatie 2 (GLG >150 cm-mv; GHG 60 cm-mv)

De toplaag (0-20 cm-mv) van de 30 cm dikke zandige bouwvoor is matig ijzerrijk (totaal-Fe: 69 mmol/l) en matig calciumhoudend (Ca-t: 27 mmol/l). De toplaag is sterk verrijkt met fosfaat (4483 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en 26,6 mmol/l totaal-P). De onderkant van de bouwvoor is minder verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1910 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 10,8 mmol/l) en ijzerrijk (152 mmol/l). Wanneer de bouwvoor afgegraven wordt komt een minder fosfaatrijke bodem aan de oppervlakte (Olsen-P: 1162 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 7,0 mmol/l), welke geschikt is voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland. Droogval van de toplaag is essentieel om P-mobilisatie en verzuivering te voorkomen. Ontwikkeling van schraalgrasland (Olsen-P streefconcentratie: 300 $\mu\text{mol/l}$) vereist aanvullend verschrallingsbeheer van circa 25 jaar maaien en afvoeren. Op 65 cm-mv is de bodem P-arm.

Advies: Doelen bijstellen en inzetten op een suboptimaal kruiden- en faunarijkgasland of kruiden- en faunarijkgasland ontwikkelen na afgraven van 20 cm; dan wel 40 cm afgraven en in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 25 jaar maaien en afvoeren of circa 6 jaar uitmijnen, zie paragraaf 2.3) in eerste instantie een kruiden- en faunarijkgasland en later een schraalgrasland ontwikkelen. Alternatief: additie ijzerkalkslib als aanvullende verschrallingsmaatregel na 40 cm afgraven (paragraaf 4.4).

Locatie 3 (GLG >150 cm-mv; GHG 65 cm-mv)

Op deze locatie is een 40 cm dikke zandige bouwvoor aanwezig, deze bouwvoor is matig ijzer- en calciumhoudend (totaal-Fe: 46-67 mmol/l en totaal-Ca: 30-34 mmol/l). De toplaag van de bouwvoor is sterk verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 3146 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 20,4 mmol/l). De onderkant van de bouwvoor is minder verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1725 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 12,8 mmol/l). De bodem direct onder de bouwvoor is dusdanig fosfaatarm (Olsen-P: 924 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 5,8 mmol/l), dat na afgraving van de bouwvoor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland mogelijk is. Droogval van de toplaag is essentieel om P-mobilisatie

.....
en verrijking te voorkomen. Met aanvullend verschrallingsbeheer (circa 22 jaar maaien en afvoeren) is de ontwikkeling van een schraalgrasland mogelijk.

Advies: Doelen bijstellen en inzetten op een suboptimaal kruiden- en faunarijkgasland, eventueel na afgraven van 20 cm, waarna verder verschraald kan worden naar een kruiden en faunarijkgasland of 40 cm afgraven en in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 22 jaar maaien en afvoeren of 5 jaar uitmijnen, zie paragraaf 2.3) in eerste instantie een kruiden- en faunarijkgasland en later een schraalgrasland ontwikkelen. Alternatief: additie ijzerkalkslib als aanvullende verschrallingsmaatregel na 40 cm afgraven (paragraaf 4.4).

Locatie 4 (GLG >150 cm-mv; GHG 75 cm-mv)

De 35 cm dikke zandige bouwvoor is calciumarm (totaal-Ca: 17-19 mmol/l) en matig ijzerrijk (totaal-Fe: 65-68 mmol/l). De gehele bouwvoor is verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 2800-3281 µmol/l en totaal-P: 14,8-16,5 mmol/l). Na het afgraven van de bouwvoor komt een minder fosfaatrijke bodem (Olsen-P: 990 µmol/l en totaal-P: 10,2 mmol/l) aan de oppervlakte. Deze bodem is geschikt voor de ontwikkeling van kruiden- en faunarijkgasland (Olsen-P streefconcentratie: 1200 µmol/l). Droogval van de toplaag is essentieel om P-mobilisatie en verrijking te voorkomen. In combinatie met verschrallingsbeheer (circa 9-24 jaar maaien en afvoeren) is op termijn ook de ontwikkeling van een hooiland/schraalgrasland mogelijk. Na afgraving van 50 cm is de fosfaatconcentratie dusdanig laag (Olsen-P: 502 µmol/l en totaal-P: 5,8 mmol/l) dat de ontwikkeling van een schraalgrasland mogelijk is.

Advies: 35 cm afgraven met aanvullend 9-24 jaar verschrallen voor de ontwikkeling van een hooiland/schraalgrasland of 50 cm afgraven voor de ontwikkeling van een schraalgrasland. Alternatief: additie ijzerkalkslib als aanvullende verschrallingsmaatregel na 35 cm afgraven (paragraaf 4.4).

Locatie 5 (GLG >150 cm-mv; GHG 40 cm-mv)

De 35 cm dikke zandige bouwvoor is matig calcium- en matig ijzerhoudend (totaal-Ca: 42-46 mmol/l en totaal-Fe: 70-74 mmol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 2942-2987 µmol/l en totaal-P: 26,7-27,3 mmol/l). Op 35-65 cm-mv is de bodem echter nog steeds zeer rijk aan fosfaat (Olsen-P: 1538-2378 µmol/l en totaal-P: 19,4-39,1 mmol/l). De venige bodem op 65 cm diepte is beperkt verrijkt met fosfaat. Op deze locatie kan beter het ambitieniveau worden aangepast door in te zetten op het ontwikkelen van een kruiden- en faunarijkgasland. Voor een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland is de fosfaatconcentratie te hoog. De soortenrijkdom zal naar verwachting langzaam toenemen, met name wanneer de labiele P-concentraties (niet gemeten) laag zijn. Een beperkte ontgronding is niet gewenst omdat hiermee vochtige en nog steeds zeer voedselrijke omstandigheden kunnen ontstaan: dit is zeer gevoelig voor extra P-mobilisatie en de daarmee gepaard gaande Pitrusontwikkeling en/of verrijking. Opvallend is dat deze humeuze, zandige, kleiige laag op locatie 2 en 4 veel minder sterk verrijkt is met fosfaat.

Advies: het ambitieniveau bijstellen en inzetten op ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland. Voor moerasontwikkeling is deze locatie tot op grote diepte te voedselrijk (ontwikkeling zal richting een voedselrijk lisdoddemoeras gaan). Alternatief: additie ijzerkalkslib als aanvullende verschrallingsmaatregel na 40 cm afgraven (paragraaf 4.4). Opmerking: locatie 5 en 6 verschillen qua voedselrijkdom in het profiel dermate sterk dat wordt geadviseerd om in beide percelen in totaal op circa 8 locaties het bodemprofiel te beschrijven en de bodemchemie op 2-3 dieptes te bepalen vanaf circa 30 cm-mv (kleiige/lemige laag) ter specificatie van de potenties voor moerasontwikkeling.

Locatie 6 (GLG 140 cm-mv; GHG 45 cm-mv)

De 30 cm dikke zandige bouwvoor op locatie 6 is matig calcium- en matig ijzerhoudend (totaal-Ca: 27-31 mmol/l en totaal-Fe: 53-56 mmol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 2513-2576 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 15,9-18,2 mmol/l). Verschraling tot een goed ontwikkeld kruiden- en faunarijk grasland vereist circa 65-70 jaar maaien en afvoeren. Na afgraving van 30 cm komt een relatief voedselarme kleiige veenlaag (Olsen-P: 377 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 4,8 mmol/l) aan de oppervlakte. Deze bodemlaag is geschikt voor de ontwikkeling van een schraalgrasland.

Advies: 30 cm afgraven voor de ontwikkeling van schraalgrasland of rietmoeras. Opmerking: locatie 5 en 6 verschillen qua voedselrijkdom in het profiel dermate sterk dat wordt geadviseerd om in beide percelen in totaal op circa 8 locaties het bodemprofiel te beschrijven en de bodemchemie op 2-3 dieptes te bepalen vanaf circa 30 cm-mv (kleiige/lemige laag) ter specificatie van de potenties voor moerasontwikkeling.

Locatie 7 (GLG 100 cm-mv; GHG 25 cm-mv)

De 40 cm dikke zandige bouwvoor is matig-rijk calciumhoudend (totaal-Ca: 47-58 mmol/l) en matig ijzerrijk (totaal-Fe: 38-71 mmol/l). Voornamelijk de toplaag van de bouwvoor (0-20 cm-mv) is rijk aan fosfaat (Olsen-P: 2735 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 21,7 mmol/l). Na het afgraven van de toplaag van de bouwvoor komt de minder fosfaatrijke onderlaag (Olsen-P: 932 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 8,8 mmol/l) aan de oppervlakte. Deze humeuze (21% organische stof) bodem is geschikt voor de ontwikkeling van kruiden- en faunarijk grasland (Olsen-P streefconcentratie: 1200 $\mu\text{mol/l}$), maar in combinatie met fors aanvullend verschrallingsbeheer (circa 27 jaar maaien en afvoeren) is ontwikkeling van een schraalgrasland mogelijk. Aangezien na afgraving nog steeds geen fosfaatarme omstandigheden zijn gecreëerd is verzuiming een risico. Droogval van de toplaag is essentieel om P-mobilisatie en verzuiming te voorkomen. Indien dit niet het geval is kan afgraving van de fosfaatrijke grond beter achterwege worden gelaten en kan men zich beter richten op de ontwikkeling van een suboptimaal kruiden- en faunarijkgrasland met verschrallingsbeheer. Wanneer 40 cm wordt afgegraven komt een armere humeuze (19% organische stof) bodemlaag aan de oppervlakte (Olsen-P 551 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 6,1 mmol/l). Deze bodem is in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer (4 jaar) geschikt voor de ontwikkeling van een nat schraalgrasland, of voor uitbreiding van broekbos.

Advies: 20 cm afgraven voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland of in combinatie met circa 27 jaar maaien en afvoeren een nat schraalgrasland ontwikkelen (let op: risico op verzuiming in de vorm van Pitrusontwikkeling is groot onder vochtige, voedselrijke omstandigheden) of 40 cm afgraven voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland (beperkt aanvullend verschrallingsbeheer vereist) of broekbos.

Locatie 8 (GLG 100 cm-mv; GHG 20 cm-mv)

De 35 cm dikke zandige bouwvoor op locatie 8 is matig calciumhoudend en ijzerarm (totaal-Ca: 17-23 mmol/l en totaal-Fe: 22-26 mmol/l). De gehele bouwvoor is rijk aan fosfaat (Olsen-P: 3697-3192 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 16,5-19,9 mmol/l), verschraling tot een kruiden- en faunarijk grasland vereist circa 85 jaar maaien en afvoeren of circa 20 jaar uitmijnen. Na afgraving van 35 cm komt een fosfaatarme zandbodem (Olsen-P: 333 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 1,4 mmol/l) aan de oppervlakte. Onder de juiste hydrologische omstandigheden is de ontwikkeling van (hei)schraalgrasland mogelijk of ontwikkeling van berkenbroekbos.

Advies: 35 cm afgraven voor de ontwikkeling van schraalgrasland of broekbos.

Locatie 9 (GLG 100 cm-mv; GHG 30 cm-mv)

Dit was tot eind jaren '50 nog broekbos. Mogelijk is er bezand na het kappen van het bos. De toplaag (0-20 cm-mv) van de 30 cm dikke zandige bouwvoor is verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 2947 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 11,6 mmol/l) en is matig calcium- en ijzerhoudend (totaal-Ca: 23 mmol/l en totaal-Fe: 26 mmol/l). Na het afgraven van de toplaag van de bouwvoor komt de minder fosfaatrijke onderlaag (Olsen-P: 878 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 3,9 mmol/l) aan de oppervlakte. Deze bodem is in combinatie met beperkt verschrallingsbeheer (circa 3 jaar maaien en afvoeren) geschikt voor de ontwikkeling van een schraalgrasland. Vanaf 30 cm-mv is de bodem P-arm en geschikt voor de ontwikkeling van een nat schraalgrasland. Op 30-40 cm is een veraarde veenlaag (46% organische stof) aangetroffen. Vanaf 40 cm-mv is de bodem P-arm en zandig.

Advies: 20 cm afgraven en circa 3 jaar maaien en afvoeren voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland of 30 cm afgraven voor het herstel van het oorspronkelijk broekbos of (30-) 40 cm afgraven voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland.

Locatie 10 (GLG 110 cm-mv; GHG 50 cm-mv)

De 40 cm dikke zandige bouwvoor is matig calcium- en ijzerhoudend (totaal-Ca: 29-29 mmol/l en totaal-Fe: 56-73 mmol/l). De gehele bouwvoor is verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 2103-2540 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 18,7-18,9 mmol/l), verschralling tot een kruiden- en faunarijk grasland vereist circa 77 jaar maaien en afvoeren of 20 jaar uitmijnen. De laag direct onder bouwvoor betreft een fosfaatarme bosveenbodem (Olsen-P: 184 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 5,1 mmol/l; 52% organische stof). Na afgraving van de bouwvoor (40 cm) is op deze bodem de ontwikkeling van een schraalgrasland mogelijk of het herstel van het oorspronkelijke broekbos (tot 1900 aanwezig, daarna mogelijk gekapt en bezand).

Advies: 40 cm afgraven voor de ontwikkeling van schraalgrasland of herstel van het broekbos.

Locatie 11 (GLG 110 cm-mv; GHG 40 cm-mv)

Op locatie 11 is een 20 cm dikke zandige bouwvoor aanwezig. Deze bouwvoor is matig calcium- en ijzerhoudend (totaal-Ca: 41 mmol/l en totaal-Fe: 61 mmol/l) en verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1935 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 21,1 mmol/l), verschralling tot een kruiden- en faunarijk grasland vereist circa 50 jaar maaien en afvoeren of 12 jaar uitmijnen. De laag direct onder de bouwvoor (20-40 cm-mv) betreft een relatief fosfaatarme bosveenbodem (Olsen-P: 494 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 6,2 mmol/l; 23% organische stof) aan. Na afgraving van de bouwvoor (20 cm) is met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer (15 jaar) de ontwikkeling van schraalgrasland mogelijk. Op 40 cm-mv is de bodem P-arm en geschikt voor de ontwikkeling van schraalgrasland. Ook hier kan herstel van het broekbos worden overwogen.

Advies: 20 cm (in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer) of 40 cm afgraven voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland of herstel van broekbos.

Locatie 12 (GLG 140 cm-mv; GHG 75 cm-mv)

De 20 cm dikke zandige bouwvoor is matig calcium- en ijzerhoudend (totaal-Ca: 30 mmol/l en totaal-Fe: 52 mmol/l). De bouwvoor is dusdanig fosfaatverrijkt (Olsen-P: 3026 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 17,1 mmol/l), dat circa 65 jaar maaien en afvoeren (of circa 15 jaar uitmijnen) nodig is om de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijk grasland mogelijk te maken. De veraarde

.....
bosveenlaag (38% organische stof) direct onder bouwvoor (20-40 cm-mv) is relatief fosfaatarm (Olsen-P: 241 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P: 4,2 mmol/l). Na afgraving van de bouwvoor (20 cm) is op deze bodem de ontwikkeling van een schraalgrasland mogelijk. Vanaf 40 cm-mv is de bodem P-arm en zandig. Ook hier kan herstel van het broekbos worden overwogen.

Advies: 20 cm afgraven voor de ontwikkeling van schraalgrasland of herstel van broekbos.

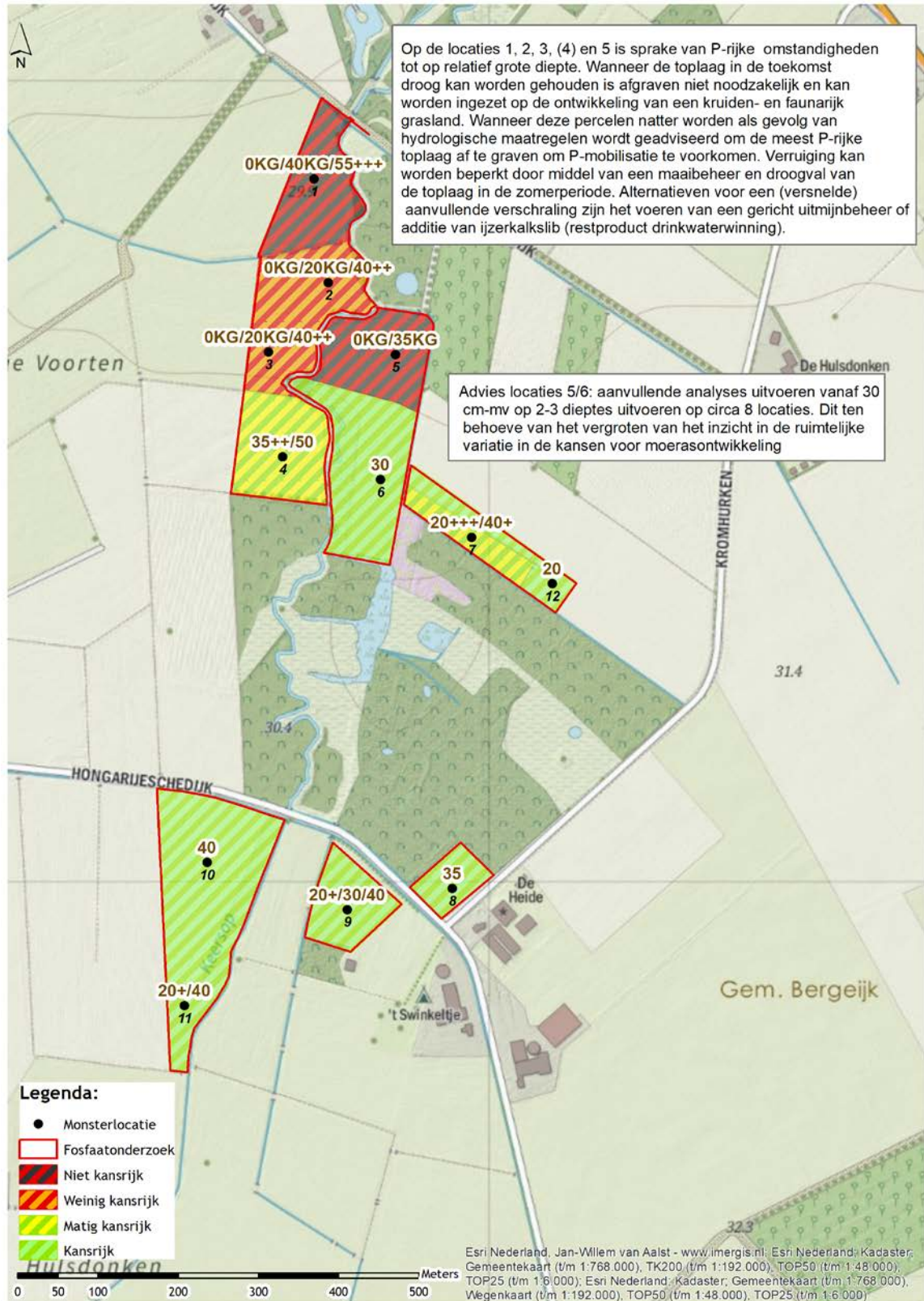
Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling

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 (maaieren en afvoeren) noodzakelijk is en bij risico staat of er na afgraving een risico op verzuivering is door natte voedselrijke omstandigheden. 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. In Hoofdstuk 5 wordt een korte samenvatting gegeven van de aangetroffen bodemchemie en adviezen voor de locaties in Kromhurken.

In Figuur 10 worden de gegeven adviezen ruimtelijk weergegeven.

Tabel 5. Overzicht van de natuurontwikkelingspotenties per locatie in Keersopperbeemden. 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 = gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand ten opzichte van het huidige maaiveld. Natuurtype: SGL = schraalgrasland, HL = hooiland en KG = kruiden- en faunarijkgasland. Beheer = aanvullend verschrallingsbeheer; Risico = aanwezigheid risico op verzuuring (=ja en =nee), Alternatief = alternatieve ontwikkelingsmogelijkheden (bijv. broekbosontwikkeling) of aanvullende verschrallingsmethoden (UM/FCslib = uitmijnen of ijzerkalkslib toedienen/infrezen na ontgroning); OS = organisch stofpercentage, Ols-P = Olsen-P, -t= totale concentratie, 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 en 1200 µmol Olsen-P/l bodem. De Olsen-P 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 en +++ = > 25 jaar maaien en afvoeren.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	Natuurtype	Beheer	Risico	Alternatief	OS	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	M3	M5	M8	M12
1	>150	55	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	KG	+++	-		6	4313	27,2	0,16	110	32	60	152	151	139	123
			40-55	zand, matig siltig, bv	Aan	KG	++	+	UM/FCslib	5	1581	12,6	0,13	95	28	72	45	40	29	14
			55-75	zand, sterk siltig	A	HL	+++	+		4	1033	10,8	0,10	111	35	111	48	35	15	0
2	>150	60	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	KG	+++	-		5	4483	26,6	0,17	95	27	69	148	148	137	122
			20-40	zand, matig siltig, bv	AP	KG	++	+		5	1910	10,8	0,18	98	22	152	49	49	39	25
			40-60	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	SGL	++	-	UM/FCslib	6	1162	7,0	0,17	71	18	137	25	25	14	0
3	>150	65	0-20	zand, sterk siltig, bv	AP	KG	+++	-		6	3146	20,4	0,15	100	34	67	109	107	95	79
			20-40	zand, sterk siltig, bv	AP	KG	++	+		4	1725	12,8	0,13	89	30	46	61	57	43	24
			40-65	zand, sterk siltig	A	SGL	+++	-	UM/FCslib	4	924	5,8	0,16	94	24	45	22	21	6	0
4	>150	75	35-50	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	HL/SGL	+/+	-	UM/FCslib	7	990	10,2	0,10	107	35	162	33	24	9	0
			50-65	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	SGL	-	-		9	502	5,8	0,09	87	44	53	11	0	0	0
5	>150	40	0-20	zand, matig siltig, bv	AP	KG	+++	-		5	2987	26,7	0,11	106	42	70	148	139	122	100
			35-50	klei, sterk zandig, sterk humeus	A	KG	++	+		6	1538	19,4	0,08	109	44	188	73	61	44	20
6	140	45	30-45	klei, uiterst siltig, sterk humeus	A	SGL	-	-		26	377	4,8	0,08	100	46	66	5	0	0	0
7	100	25	20-40	zand, matig siltig, bv	AP	KG/SGL	+++	+	broekbos	21	932	8,8	0,11	54	47	38	36	26	8	0
			40-60	bosveen, sterk veraard	O	SGL	+	-	broekbos	19	551	6,1	0,09	64	71	26	17	4	0	0
8	100	20	35-55	zand, matig siltig, inspoeling	BC	SGL	-	-	broekbos	2	333	1,4	0,24	106	14	25	0	0	0	0
9	100	30	20-30	zand, matig siltig, bv	AP	SGL	+	-		2	878	3,9	0,22	102	17	22	3	3	1	0
			30-40	veen, veraard	O	SGL	-	-	broekbos	46	264	3,4	0,08	36	30	12	0	0	0	0
			40-60	zand, matig siltig, inspoeling	BC	SGL	-	-		2	224	1,3	0,17	83	14	26	0	0	0	0
10	110	50	40-60	bosveen, sterk veraard	O	SGL	-	-	broekbos	52	184	5,1	0,04	82	75	53	0	0	0	0
11	110	40	20-40	bosveen, sterk veraard	O	SGL	++	-	broekbos	23	494	6,2	0,08	67	58	54	15	0	0	0
			40-60	grind, sterk zandig, inspoeling	BC	SGL	-	-	broekbos	7	344	2,1	0,16	108	24	28	0	0	0	0
12	140	75	20-40	bosveen, sterk veraard	O	SGL	-	-	broekbos	38	241	4,2	0,06	84	40	59	0	0	0	0

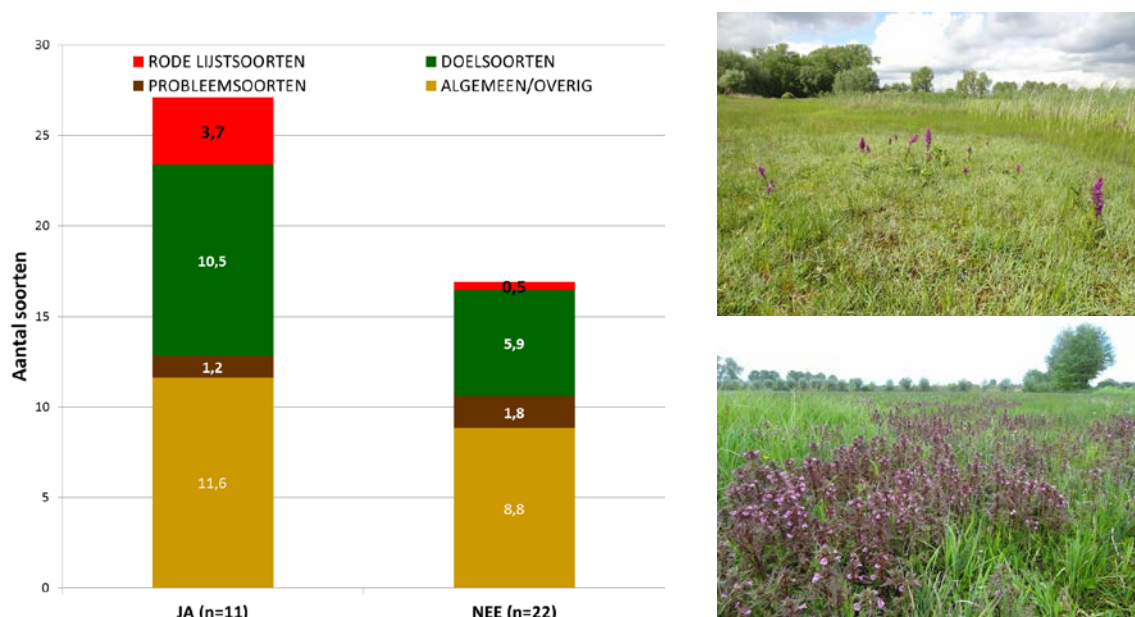


Figuur 10. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de geadviseerde afgravingdiepten (in cm) in de Kromhurken op basis van het bodemchemisch onderzoek (let op: toetsing op inpassing in het (eco)hydrologische systeem maakt geen onderdeel uit van deze opdracht), waarbij + = < 10 jaar aanvullend verschrallingsbeheer (maaieren en afvoeren) vereist, ++ = 10-25 jaar aanvullend verschrallingsbeheer en +++ = 25-40 jaar aanvullend verschrallingsbeheer. OKG = inzetten op ontwikkeling kruiden- en faunairijk grasland in verband met voedselrijkdom tot op relatief grote diepte.

4.4 Aanvullende maatregelen

De eerste jaren na de het afgraven van de voedselrijke top laag 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.

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).



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 top laag in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. Foto's: Mark van Mullekom.

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.

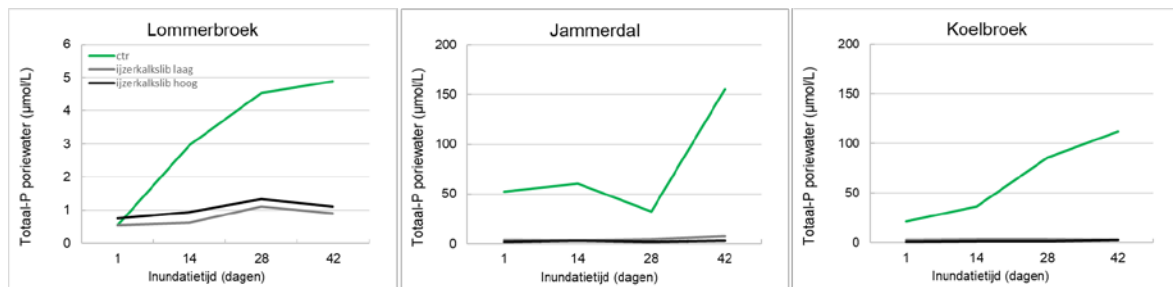
Jaarlijks maaien en afvoeren (gemiddelde P-afvoer 10 kg/ha/jaar) is op (sterk) met fosfaat verrijkte percelen niet optimaal voor een efficiënte afvoer van fosfaat. Een alternatief is uitmijnen (gemiddelde P-afvoer 40 kg/ha/jaar): een 'natuurvriendelijke' vorm van het voeren van intensieve landbouw. Wanneer de huidige zode voldoende productieve soorten bevat kan met behulp van stikstof- en kalibemesting de P-afvoer worden vergroot. Wanneer deze te weinig productieve soorten bevat (of wanneer uitmijnen wordt ingezet als een aanvullende verschrallingsmaatregel na een ontgroning) wordt geadviseerd om in te zaaien met een grasklaver mengsel. In combinatie met aanvullende kalibemesting wordt de productiviteit, en daarmee ook de P-afvoer, geoptimaliseerd. Hiervoor kunnen door middel van aanvullende analyses bij Eurofins door het Louis Bolk Instituut gerichte bemestingsadviezen worden opgesteld. De percelen dienen gedurende een lange periode voldoende droog te vallen zodat 4-5 snedes gemaaid kunnen worden. Dit maakt het nemen van vernattingsmaatregelen meestal niet mogelijk.



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

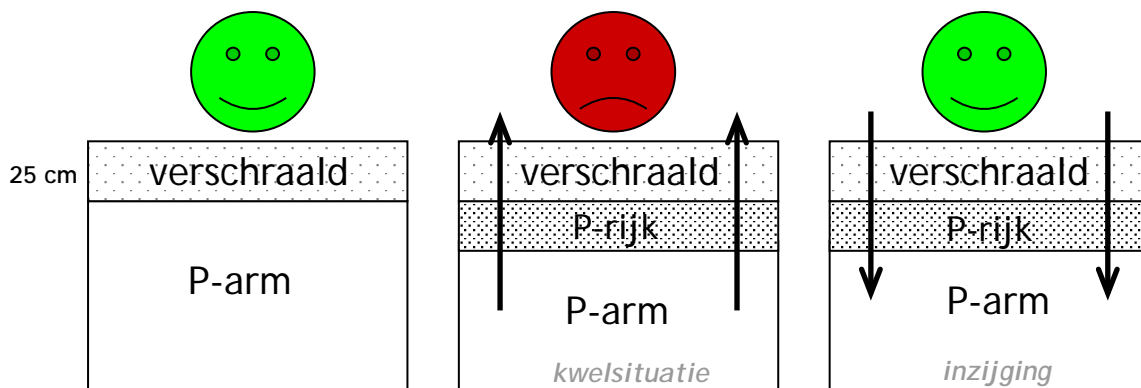
In het gebied kan de additie van ijzerkalkslib een interessante en kansrijke aanvullende verschrallingsmaatregel vormen voor de ontwikkeling van vochtig hooiland of broekbos (bijvoorbeeld op locaties 1-4; monitoring wordt aanbevolen) of ter verbetering van het bestaande broekbos (eventueel interessant om experimenteel te testen op kleine schaal). Onderzoekcentrum B-WARE heeft hier positieve ervaring mee: de P-concentraties in het poriewater nemen sterk af (Figuur 13). Het ijzerkalkslib is een restproduct van het drinkwaterwinningsproces (in Luyksgestel). Door het toedienen van dit slib wordt de hoeveelheid ijzer en andere mineralen die normaal gesproken over een periode van vele honderden jaar via het grondwater (kwel) zouden worden aangevoerd, in een keer in de bodem gebracht. Onder ijzerrijke omstandigheden wordt fosfaat

goed geïmmobiliseerd waardoor de P beschikbaarheid relatief laag blijft, ook onder natte condities.



Figuur 13. Overzicht van de P-concentraties in het poriewater op drie verschillende locaties zonder toediening van ijzerkalkslib (groene lijn) en na toediening van ijzerkalkslib in twee verschillende concentraties onder natte omstandigheden. Bron: A. Smolders & E. Lucassen, Onderzoekcentrum B-WARE.

Op (matig) voedselrijke plekken waar niet wordt afgegraven kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijke 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 maai-beheer 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 verrijking te voorkomen wordt geadviseerd om de detailontwatering in stand te houden zodat de P-rijke toplaag voldoende droogvalt (voorkomen P-mobilisatie).



Figuur 14. Schematisch overzicht van verschraling waarbij in een kwelsituatie fosfaat uit een rijkere bodemlaag (>25 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 verschralingsbeheer 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 14), P-nalevering richting

de verschraalde bodemlaag optreden. Dit zou echter kunnen leiden tot verrijking van de toplaag en verzuiging of de noodzaak voor aanvullende verschraling. 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 verzuiging leiden.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Belangrijkste conclusies bodemchemie

- De bodem in de voormalige landbouwpercelen bestaat uit matig tot sterk siltig zand en lokaal zijn veen, klei of grindige lagen aangetroffen. De bodem is overwegend matig ijzer- en matig calciumhoudend.
- Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied als gevolg van het agrarische gebruik (lokaal sterk) verrijkt is met fosfaat tot concentraties die te hoog zijn voor de ontwikkeling van soortenrijke schrale vegetatietypen. De dikte van de aangetroffen bouwvoor in het gebied varieert van 20-60 cm.
- In Figuur 10 worden de natuurontwikkelingsmogelijkheden ruimtelijk weergegeven. Een eventuele ontgronding dient te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem.
- De noordelijke percelen (locatie 1, 2, 3, 5) zijn tot op 40 cm of dieper dermate fors verrijkt met fosfaat dat de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuurtypen niet mogelijk is door middel van een beperkte ontgraving. Geadviseerd wordt om op deze locaties in te zetten op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijke grasland. Een goed ontwikkeld kruiden- en faunarijke grasland komt over het algemeen voor bij een Olsen-P concentratie van circa (<)1000-1200 $\mu\text{mol/l}$. Daarvoor is de huidige toplaag (fors) te rijk (3000-4000 $\mu\text{mol/l}$). De soortenrijkdom zal langzaam toenemen, met name wanneer de labiele-P concentraties (niet gemeten) voldoende laag zijn. Bij witboldominantie wordt geadviseerd enkele jaren vroeg te maaien. Om ontwikkeling richting kruiden- en faunarijke grasland te stimuleren en de verzuivering te beperken is het inzaaien met een inheems zaadmengsel (kruidenrijk grasland), na afgraving, ook te overwegen. Zie bijvoorbeeld: (<http://biodivers.nl/mengsel-6/> of <https://www.cruydhoeck.nl/winkel/bloemenmengsel-g2-voor-voedselrijke-en-kleigronden/p82>).
- Een alternatief voor de noordelijke percelen is het inzetten op een intensief uitmijnbeheer (paragraaf 2.3) na het afgraven van 40 cm. Daarnaast is het toedienen van ijzerkalkslib (restproduct drinkwaterwinning Luyksgestel) een optie om, na 40 cm afgraven, de fosfaatbeschikbaarheid te verlagen ten behoeve van de ontwikkeling van een vochtig hooiland of broekbos (paragraaf 4.4). Geadviseerd wordt om dit proces te monitoren.
- Vernattingsmaatregelen zijn op deze voedselrijke locaties, zonder aanvullende verschrallingsmaatregelen, in principe niet gewenst omdat dit tot P-mobilisatie en verzuivering kan leiden. Voortzetten van het maaibeheer en droogval van de toplaag in de zomerperiode zijn belangrijk. Verzuivering is ongewenst en kan ten koste gaan van het draagvlak in de omgeving voor de gebiedsontwikkeling.
- Echter, wanneer in het noordelijke deel van het gebied in de toekomst vernattingsmaatregelen worden getroffen waardoor de huidige toplaag van de voedselrijke percelen op locatie 1, 2, 3 en 5 vochtig wordt, wordt geadviseerd om de meest P-rijke toplaag af te graven om extreme P-mobilisatie te voorkomen. Verzuivering kan worden beperkt door middel van een maaibeheer (maaien en afvoeren of uitmijnen) of het toedienen van ijzerkalkslib en ervoor te zorgen dat de toplaag droogvalt in de zomerperiode.
- Locatie 5 en 6 verschillen qua voedselrijkdom in het profiel dermate sterk dat wordt geadviseerd om in beide percelen, aanvullend op het huidige onderzoek, in totaal op circa 8 locaties het bodemprofiel te beschrijven en de bodemchemie op 2-3 dieptes te bepalen vanaf circa 30 cm-mv (kleiige/lemige laag) ter specificatie van de potenties voor

moerasontwikkeling. Op locatie 6 is de bodem vanaf 30 cm voldoende voedselarm voor moerasontwikkeling, echter op locatie 5 is de bodem tot op grote diepte te voedselrijk (ontwikkeling zal richting een voedselrijk lisdoddemoeras gaan). Aanvullend onderzoek kan een beter beeld geven van de ruimtelijke variatie in de voedselrijkdom en de mogelijkheden voor moerasontwikkeling in het betreffende perceel.

- Op de overige locaties kunnen door middel van een ontgroning van overwegend 20-40 cm P-gelimiteerde omstandigheden worden gecreëerd (eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer op de locaties 4 en 7) voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuurtypen. Na verschralling liggen in het gebied, afhankelijk van de mate van bodembuffering (bij dit onderzoek alleen ingeschat op basis van totaal-Ca) en indicatieve grondwaterstanden (GLH/GHG), onder de juiste hydrologische omstandigheden, kansen voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland (heischraal grasland of blauwgrasland) of vochtig hooiland (dotterbloemhooiland). Inzetten op (herstel van) broekbosontwikkeling op de locaties 7-12 behoort ook de mogelijkheden. Voor een soortenrijke ondergroei zijn voedselarme tot matig voedselrijke omstandigheden vereist.

5.2 Aanbevelingen

- Na afgraving of het bereiken van de gewenste verschralling (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 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. Wanneer door middel van een ontgroning een (deels veraarde) veenlaag wordt blootgelegd dient het voldoende nat te zijn om verdere oxidatie te voorkomen. Het hydrologische aspect maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. Belangrijk is dat rekening wordt gehouden met mogelijk aanwezig (of historisch) microrelatief binnen een perceel. 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 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.
- 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. Stary, V. Wolters & K. Hedlund (2015) Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* 21: 973-985.

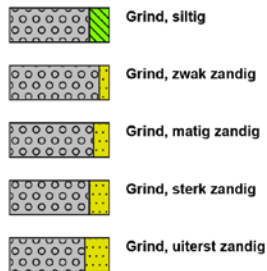
7. BIJLAGEN

Bijlage 1. Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties in de Kromhurken. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door het Veldwerkbureau (Jan Vermeer).

Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

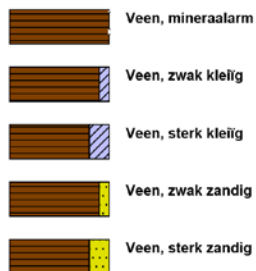
grind



zandtest



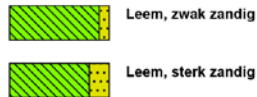
veen



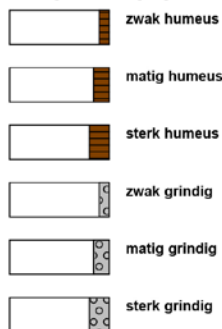
klei



leem



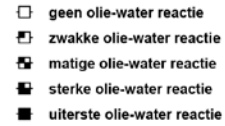
overige toevoegingen



geur



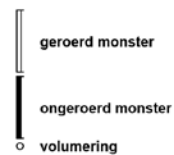
olie



p.i.d.-waarde



monsters



overig

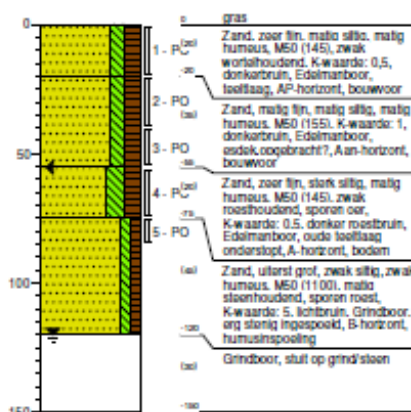




Boring: 01

X: 152781,00
 Y: 368878,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 120
 GHG: 55

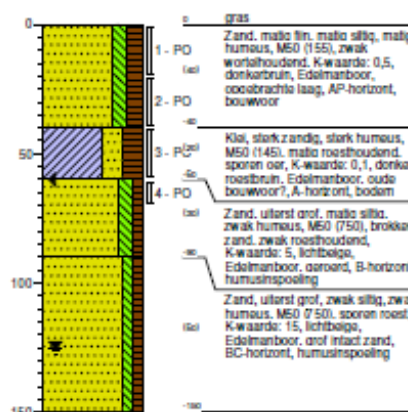
Opmerking: recent bemest
 Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 02

X: 152799,00
 Y: 368748,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 125
 GHG: 60

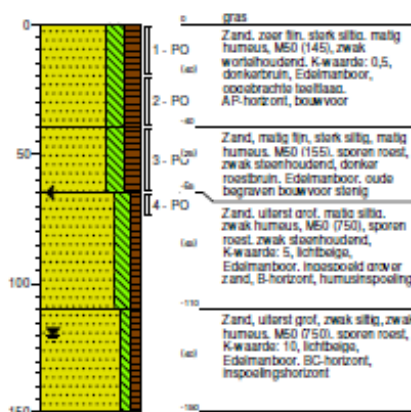
Opmerking: recent bemest, 2 keer verplaatst t/m versterking
 Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 03

X: 152724,00
 Y: 368862,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 120
 GHG: 65

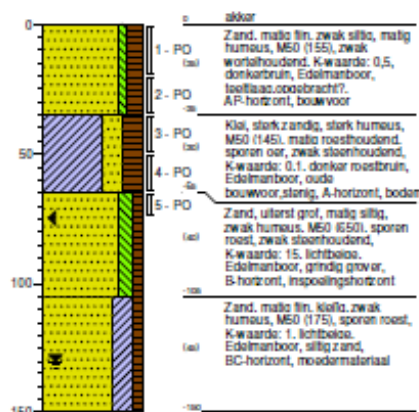
Opmerking: recent bemest
 Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 04

X: 152742,00
 Y: 368531,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 130
 GHG: 75

Boormeester: Jan Vermeer

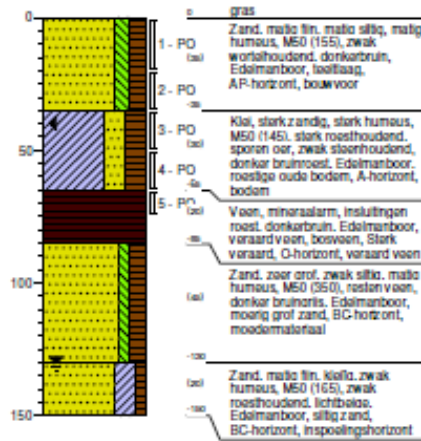




Boring: 05

X: 152882,00
 Y: 368650,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 130
 GHG: 40

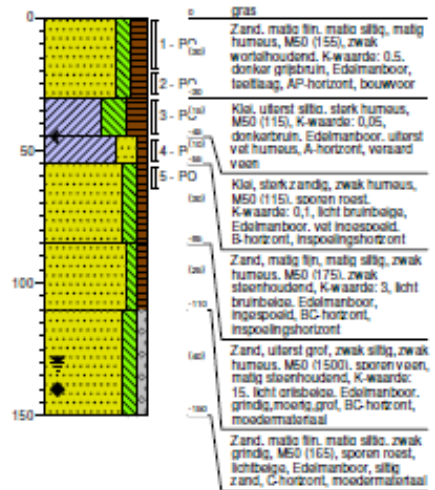
Opmerking: ruig gras
 Boormeester: Jan Vermoer



Boring: 06

X: 152864,00
 Y: 368502,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 130
 GHG: 45
 GLG: 140

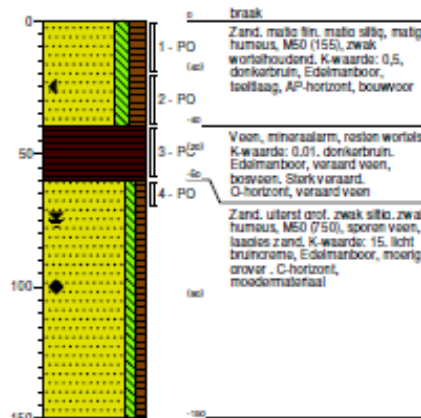
Opmerking: ruig gras
 Boormeester: Jan Vermoer



Boring: 07

X: 152977,00
 Y: 368430,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 75
 GHG: 25
 GLG: 100

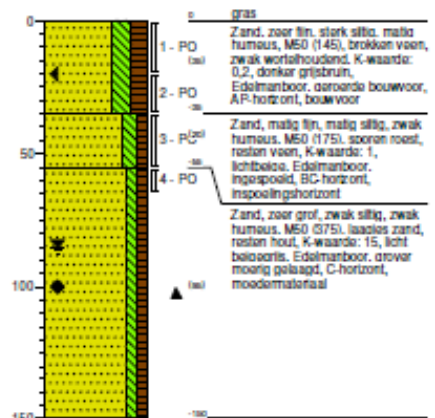
Opmerking: ruig gras/and riekraag
 Boormeester: Jan Vermoer



Boring: 08

X: 152953,00
 Y: 367992,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 85
 GHG: 20
 GLG: 100

Opmerking: ruige braak wat pitrus en brandstels
 Boormeester: Jan Vermoer

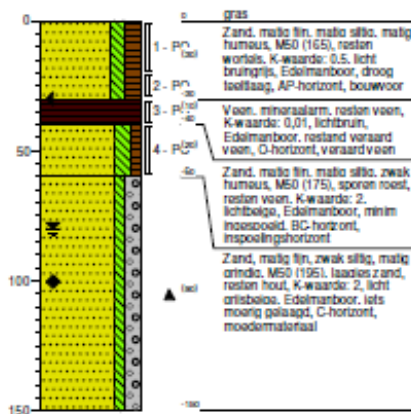




Boring: 09

X: 152822,00
 Y: 367966,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 80
 GHG: 30
 GLG: 100

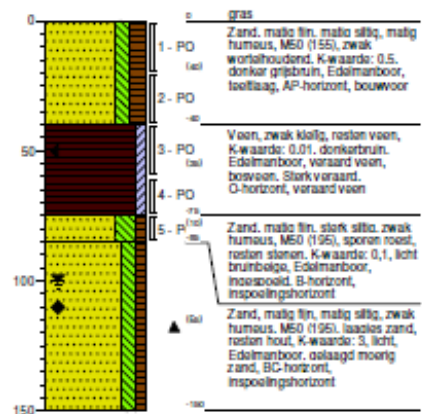
Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 10

X: 152648,00
 Y: 368025,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 100
 GHG: 50
 GLG: 110
 Opmerking: recent bemest

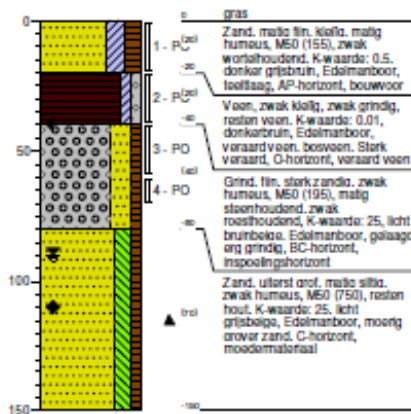
Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 11

X: 152619,00
 Y: 367846,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 90
 GHG: 40
 GLG: 110
 Opmerking: doorgeschoten raai/timotagrass

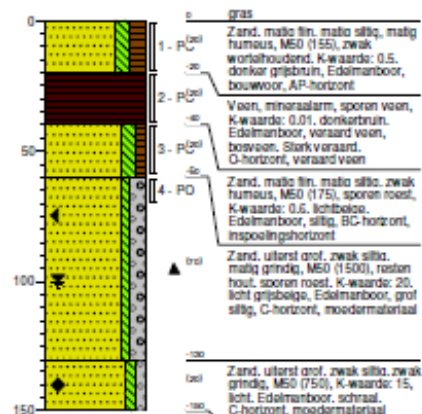
Boormeester: Jan Vermeer



Boring: 12

X: 153078,00
 Y: 368372,00
 Datum: 28-06-2018
 GWS: 100
 GHG: 75
 GLG: 140
 Opmerking: rijk gras

Boormeester: Jan Vermeer



Bijlage 2. Historische kaarten van het onderzoeksgebied









B
ware

www.b-ware.eu