



BIOGEOCHEMISCH ONDERZOEK HAGENBEEK



- Eindrapportage -

BIOGEOCHEMISCH ONDERZOEK HAGENBEEK

Eindrapportage

*Amber Visscher
Hilde Tomassen*



Titel rapport:

Biogeochemisch onderzoek Hagenbeek, eindrapportage

Auteurs:

Amber Visscher & Hilde Tomassen

Rapportnummer: RP-19.100.19.66

Opdrachtgever:

Provincie Gelderland, Arnhem

Provinciale zaaknummer:

2016-004408

Informatie:

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

Contactpersoon:

Hilde Tomassen
Tel: 024-2122207
h.tomassen@b-ware.eu
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, 2019



INHOUDSOPGAVE

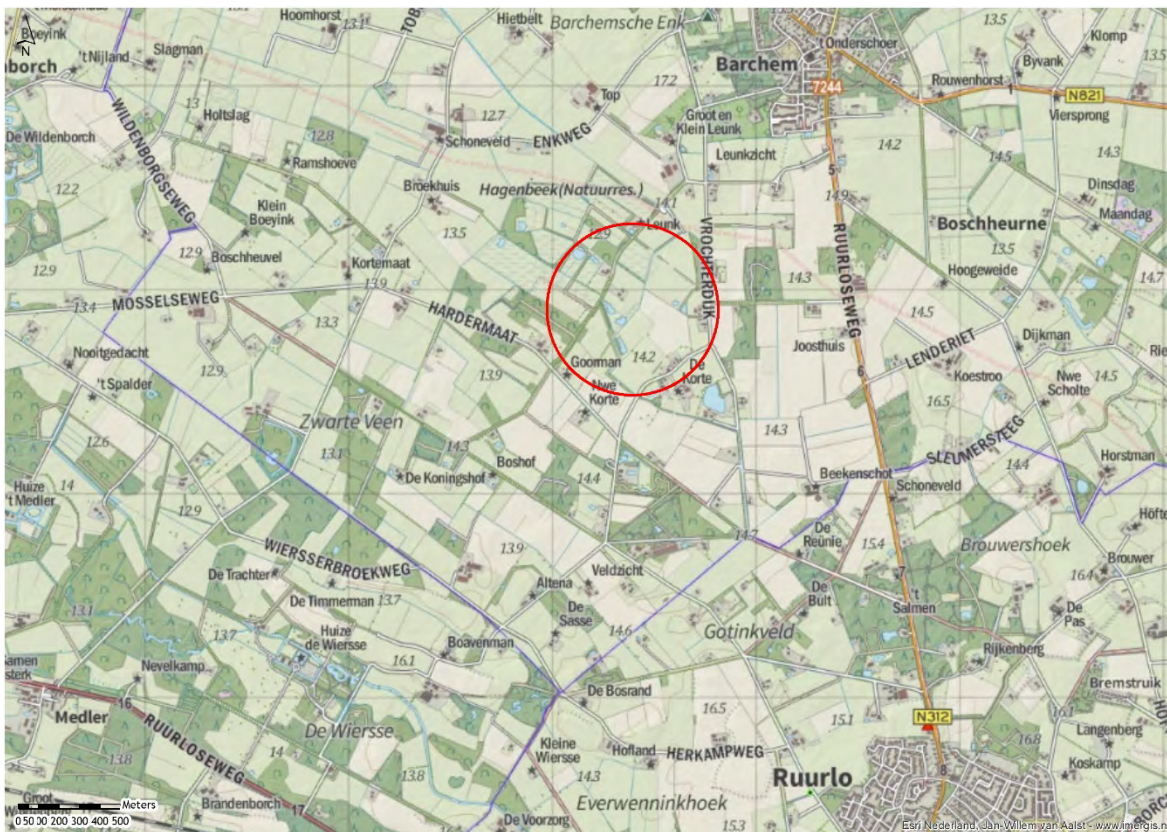
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek	2
1.3 Leeswijzer	2
2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond	3
2.1 Nutriëntenlimitatie	3
2.2 Fosfaatbeschikbaarheid	3
2.3 Verschralingsmaatregelen	4
2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen	6
3. Materiaal en methoden	7
3.1 Veldwerkzaamheden	7
3.2 Chemische analyse	9
4. Resultaten bodemchemisch onderzoek	11
4.1 Inleiding	11
4.2 Bodemchemie	11
4.3 Hydrochemie	15
4.4 Kansen voor de natuurontwikkeling	15
4.5 Aanvullende maatregelen	24
5. Conclusies en aanbevelingen	29
5.1 Belangrijkste conclusies	29
5.2 Aanbevelingen	29
6. Literatuur	31
7. Bijlagen	33

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Provincie Gelderland wil een aantal van haar landbouwgronden, die aansluiten op het natuurgebied Hagenbeek, omvormen naar natuur. Daarnaast behoren enkele nog niet ingerichte percelen van Staatsbosbeheer tot het onderzoeksgebied. Het totale onderzoeksgebied is circa 20 ha. De geplande inrichting hangt samen met de waterhuiskundige maatregelen die Waterschap Rijn en IJssel aan de Barchemse Veengoot gaat uitvoeren.

Uit een ecologische bodemkartering van de provincie Gelderland blijkt dat in het gebied hoofdzakelijk beekerdgronden aanwezig zijn. Lokaal werd een leemlaag aangetroffen op een diepte van ca. 30-40 cm-mv. Deze leemlaag heeft men op enkele plekken waarschijnlijk proberen te doorbreken, net zoals een enkele locatie waar een verstoorde veengrond is aangetroffen.



Figuur 1. Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied Hagenbeek.

Op basis van al bekende informatie, bestaande uit veldonderzoek en gebiedskennis van de Provincie Gelderland, zijn strategieën en gewenste natuurbeheertypes per locatie opgesteld (zie Tabel 1). De provincie Gelderland wil graag droog schraalgrasland (N11.01), nat schraalland (N10.01), vochtig hooiland (N10.02), rivier- en beekbegeleidend bos (N14.01) en haagbeuken- en essenbos (N14.03) in het gebied ontwikkelen. Informatie over de bodemchemie (onder meer voedselrijkdom, basentoestand, ijzer- en zwavelconcentraties) en potenties van afgraven en maaien en afvoeren in relatie tot de gewenste natuurbeheertypes ontbreekt echter nog en daarvoor is een bodemchemisch onderzoek uitgevoerd.

Tabel 1. Opgestelde ontwikkelstrategieën en gewenste natuurbeheertype per locatie zoals vastgesteld door Provincie Gelderland.

Locatie	X	Y	Diepte (cm-mv)	Aantal	Strategie	Mogelijk natuurdoeltype
1	226190	458799	0-10, 10-20, 20-30 (onderkant bouwvoor), 30-40	4	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N11.01
2	226217	458839	0-10, 10-20, 20-35, 35-45 (leem laag), 45-55	5	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
3	226320	459055	0-10, 10-20 (onderkant bouwvoor), 20-30	3	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
4	226267	458753	0-10, 10-20, 20-30 (onderkant bouwvoor), 30-40	4	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N14.01/N14.03
5	226402	458990	0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 45-55 (laag onder bv)	5	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
6	226240	458594	0-10, 10-20, 20-30	3	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N11.01
7	226293	458655	0-10, 10-20, 20-30, 30-40 (leem laag), 40-50	5	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
8	226286	458702	10-20, 30-40, 50-60	3	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N14.01/N14.03
9	226386	458744	0-10, 10-20, 20-30, 30-40 (leem laag), 40-50	5	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
10	226365	458791	0-10, 10-20, 20-35 (verstoorde laag (A/C), 35-45	4	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
11	226468	458839	0-10, 10-20, 20-30	3	Zode verwijderen, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N11.01
12	226485	458876	0-10, 10-20, 20-30, 30-40	4	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02/N11.01
13	226465	458973	0-10, 10-20, 20-30, 30-40	4	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
14	226527	459043	0-10	1	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
15	226652	459040	0-10	1	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
16	226620	459188	0-10	1	afgraven, maaien en afvoeren	N10.01/N10.02
OW 1	226351	458713			Oppervlaktewaterbemonstering	
GW 1	226267	458753			Grondwaterbemonstering	

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek

Op 16 locaties in het gebied (geselecteerd door de provincie Gelderland) zijn op verschillende diepten bodemmonsters verzameld en chemisch geanalyseerd. Op basis van de bodemchemische onderzoeksresultaten is aangegeven op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor soortenrijke (natte) natuurtypen gerealiseerd kan worden en welke verschringsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Op 1 locatie in het gebied is tevens het oppervlaktewater en op een andere locatie is het grondwater bemonsterd.

Op basis van het onderzoek worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Hoe hoog zijn de P-concentraties in de geanalyseerde bodemlagen en hoe lang duurt het om deze te verschrallen door middel van maaien en afvoeren?
- Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor en wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte?
- Welke natuurpotenties zijn er op basis van de bodemchemie en het bodemtype?
- Is er risico op verzuring bij verdroging of interne eutrofiëring na peilverhoging?
- Welke aanvullende maatregelen zijn vereist bij de omvorming van de voormalige landbouwgronden naar soortenrijke natuurbeheertypen?

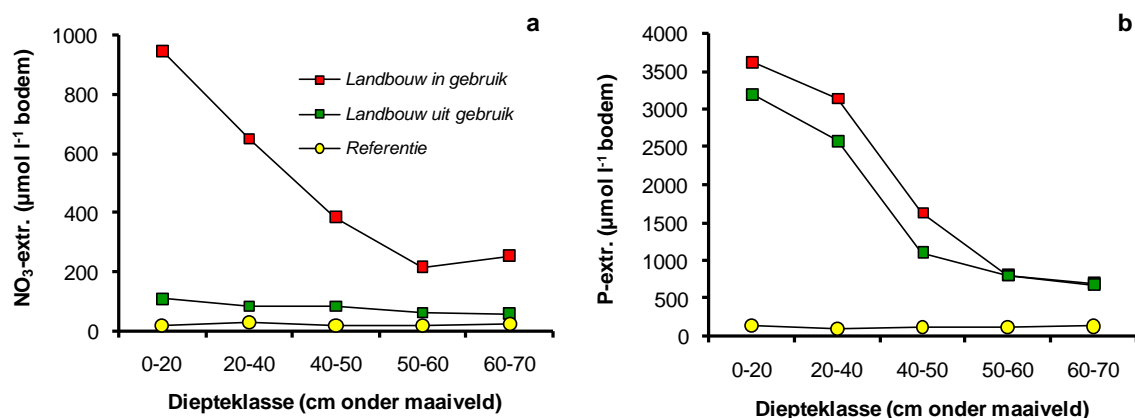
1.3 Leeswijzer

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

2. NATUURONTWIKKELING OP VOORMALIGE LANDBOUWGROND

2.1 Nutriëntenlimitatie

De kansen op een goede natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden wordt sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (P) (Lamers e.a., 2005). Stikstoflimitatie is moeilijk te bereiken vanwege de nog steeds hoge stikstofdepositie en ook omdat onder relatief stikstofarme omstandigheden stikstofbindende soorten zich sterk uitbreiden. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie (Figuur 2; Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006).

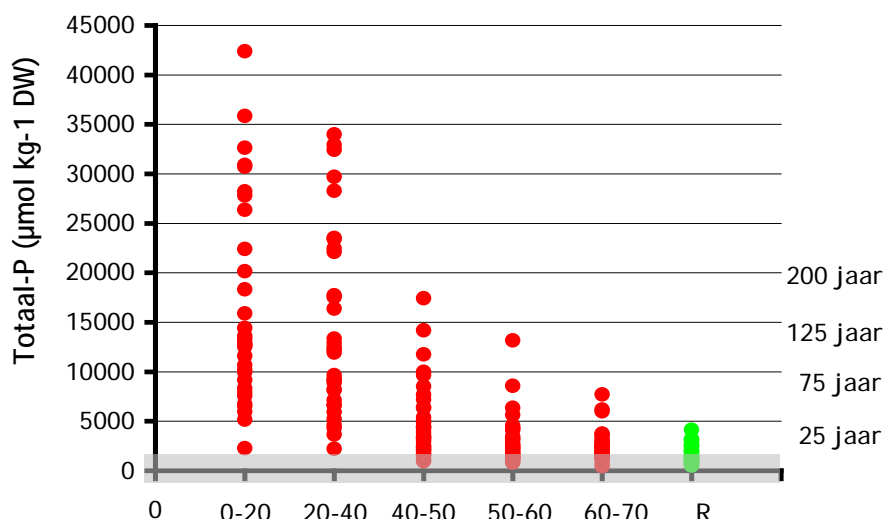


Figuur 2. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de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

2.2 Fosfaatbeschikbaarheid

In tegenstelling tot stikstof neemt de fosforbeschikbaarheid niet door uitspoeling sterk af. Door middel van maaien en afvoeren kan de P-beschikbaarheid op voormalige landbouwgronden onvoldoende worden teruggebracht om binnen een termijn van enkele tientallen jaren een P-gelimiteerde uitgangssituatie te krijgen (zeer kalkrijke bodems uitgezonderd) (Figuur 3; Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009). Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag meestal onontkoombaar. Hierbij is het belangrijk om vast te stellen tot hoe diep ontgrond moet worden om een voldoende P-arme uitgangssituatie te creëren. Dit kan door op verschillende diepten de P-beschikbaarheid te meten (Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; van Mullekom e.a., 2013).

In het geval dat de natuurontwikkeling gepaard gaat met vernatting is het van belang om rekening te houden met veranderende redoxcondities (Smolders e.a., 2006). In de bodem zorgen geoxideerde ijzerverbindingen (ijzer(hydr)oxiden; roest) in belangrijke mate voor de vastlegging van fosfaat. Onder natte condities kan er geen zuurstof meer in de bodem doordringen waardoor geoxideerde ijzerverbindingen worden gereduceerd. Hierdoor neemt het fosfaatbindende vermogen van de bodem sterk af en kan fosfaat uit de bodem vrijkomen.



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

2.3 Verschrallingsmaatregelen

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

Extensieve begrazing

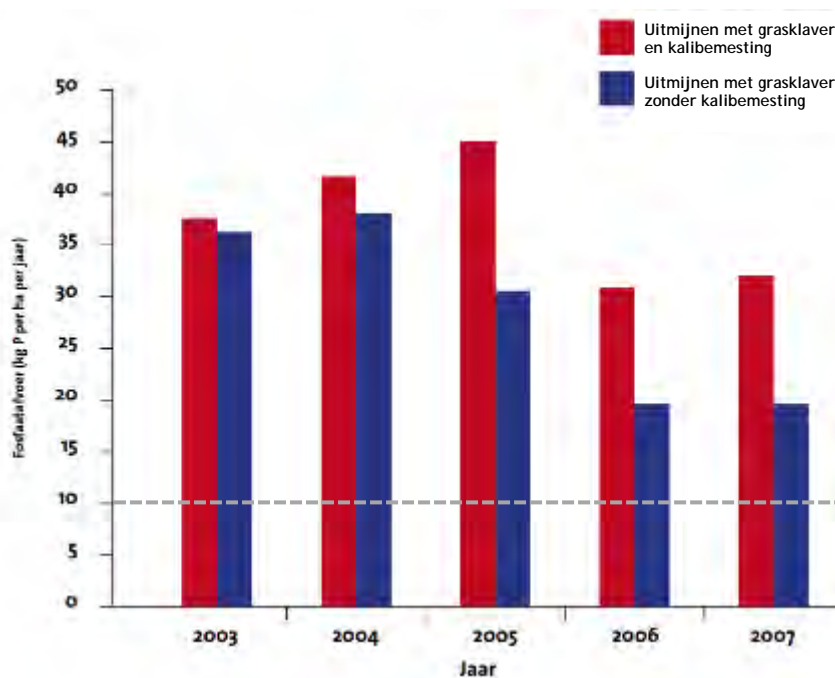
Bij extensieve begrazing worden nutriënten opgenomen door grazers. Via mest en urine komen ze dan elders weer vrij. Probleem hiervan is echter dat dit vooral leidt tot herverdeling van nutriënten binnen het gebied en veel minder tot de afvoer van nutriënten. Daarnaast worden bepaalde soorten als Pitrus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

Intensief beheer met maaien en afvoeren

Intensief beheer in de vorm van maaien en afvoeren levert in veel gevallen voldoende resultaat op om de bestaande (gewenste) vegetaties in stand te houden. Nutriënten in het bovengrondse organisch materiaal worden afgevoerd, waardoor ze uit het systeem worden onttrokken (Smolders e.a., 2006). Echter, bij landbouwgronden, die intensief zijn bemest, is deze vorm van beheer niet afdoende om de hoeveelheid fosfaat in de bodem snel te verlagen. Het kan vele jaren duren, bij sterk bemeste percelen vaak tot 200 jaar, voordat zoveel nutriënten zijn verwijderd dat er sprake is van een voedselarme bodem (Figuur 3, Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2005).

Uitmijnen

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



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

Ontgronden

Bij ontgronden (toplaagverwijdering/maaveldverlaging) worden enkele decimeters van de toplaag verwijderd (Smolders e.a., 2009). Voordat de toplaag afgegraven wordt, moet de diepte van het fosfaatfront bepaald worden. Dit komt namelijk niet altijd overeen met de dikte van de bouwvoor (Smolders e.a., 2009). Fosfaat kan door uitspoeling namelijk dieper in de bodem terecht komen. Door middel van ontgroning kan een snelle verschraling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen de afstand tot het grondwater verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren (van Mullekom e.a., 2007; 2013). Potentiële nadelen van ontgronden zijn een aantasting van de geomorfologie van het gebied en dat de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld te hoog kunnen worden. Andere nadelen van ontgronden die vaak genoemd worden zijn het verlies van bodemleven en de nog

aanwezige zaadbank. In de toplaag van de bodem van intensief bemeste landbouwgronden is het bodemleven vaak 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 ontgronding 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.

3. MATERIAAL EN METHODEN

3.1 Veldwerkzaamheden

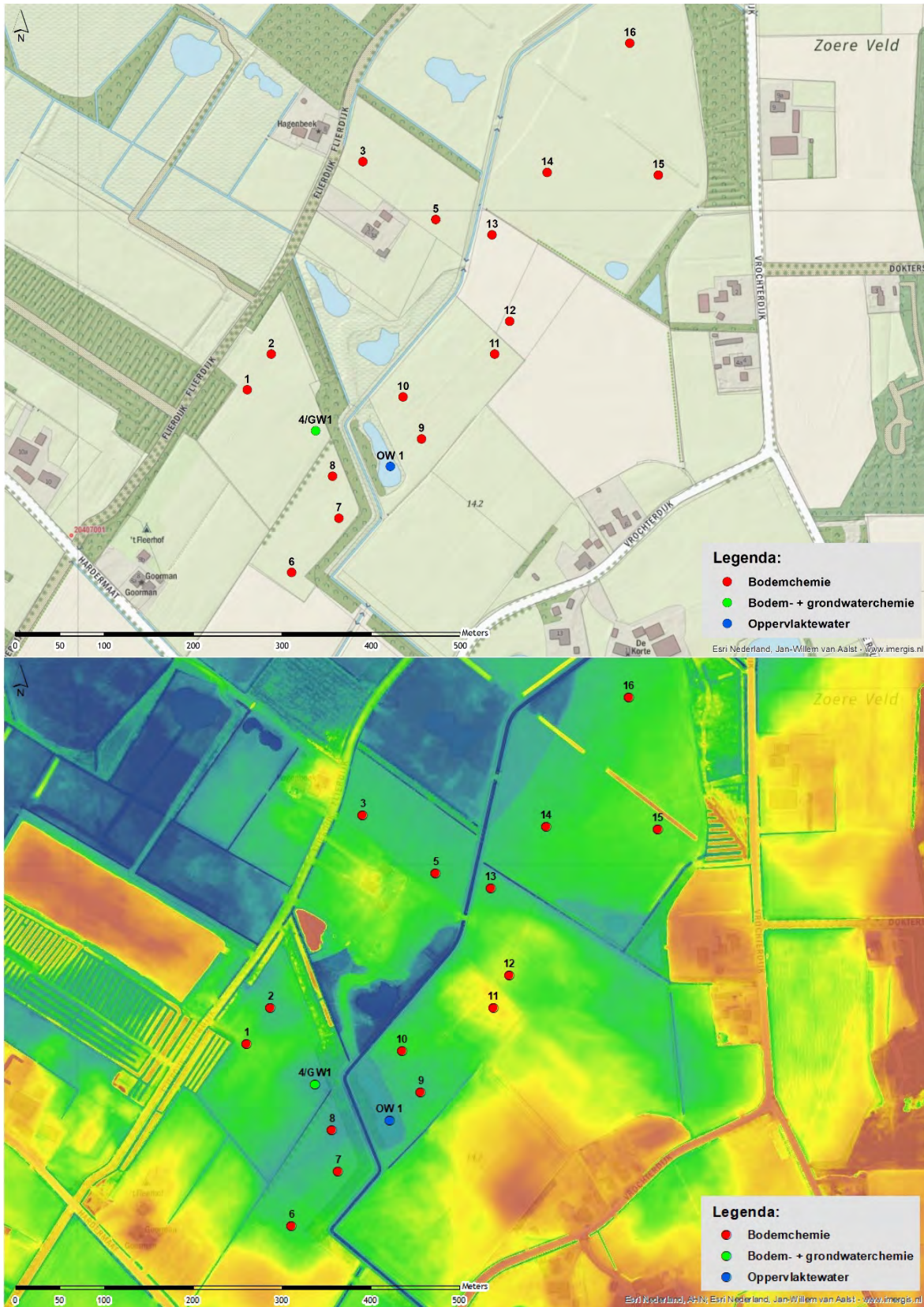
Op 1 juli 2019 werden voor het bodemchemisch onderzoek op 16 locaties ondiepe boringen (tot 150 cm onder maaiveld) gezet. De locaties werden door de opdrachtgever geselecteerd op basis van o.a. variatie in huidige/actuele perceelgrenzen, hoogteligging en bodemtype. Voor de exacte ligging van de boorlocaties zie Figuur 5. De boringen werden verricht met een Edelmanboor en de exacte boorlocaties werden ingemeten met een GPS (zie Tabel 3). Het bodemprofiel werd beschreven conform NEN 5104 door boormeester Jan Vermeer van het Veldwerkbureau (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel ook de GHG en GLG (Tabel 3).

Op iedere locatie werden bodemmonsters verzameld volgens de beoogde bemonsteringsstrategie van de provincie Gelderland (Tabel 2). Op een aantal locaties werden de verschillende horizonten op een iets afwijkende diepte aangetroffen of zijn extra bodemlagen bemonsterd (zie Bijlage 1), dit is met rood aangegeven in Tabel 2. Op locatie 2 werd de leemlaag minder diep aangetroffen en werd daarom een bodemlaag minder bemonsterd. De bodemmonsters werden in afgesloten potten vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In totaal werden 61 bodemmonsters verzameld en geanalyseerd.

Tabel 2. Gehanteerde bemonsteringsstrategie (in cm-mv) per boorlocatie. In rood is weergegeven wanneer bodemlagen bij de bemonstering op een andere diepte werden aangetroffen en indien een extra bodemlaag werd bemonsterd (zie Bijlage 1). Op locatie 2 werd het leem minder diep aangetroffen en werd een bodemlaag minder bemonsterd. Zie Tabel 1 voor de beoogde bemonsteringsstrategie.

Locatie	X	Y	Diepte (cm-mv)	Aantal
1	226190	458799	0-10, 10-20, 20-30 (onderkant bouwvoor), 30-40	4
2	226217	458839	0-10, 10-25, 25-40 (leemlaag), 40-50	4
3	226320	459055	0-15 (onderkant bouwvoor), 15-25, 25-35, 35-45	4
4	226267	458753	0-10, 10-20, 20-35 (onderkant bouwvoor), 35-45	4
5	226402	458990	0-10, 10-20, 20-35, 35-45 (bodemlaag onder bouwvoor), 45-55	5
6	226240	458594	0-10, 10-20, 20-30	3
7	226293	458655	0-10, 10-20, 20-30 (bosveen), 30-40, 40-50, 50-60	6
8	226286	458702	10-20, 35-45, 45-55, 75-85 (bosveen)	4
9	226386	458744	0-10, 10-20, 20-30, 30-40 (bosveen), 40-50, 50-60	6
10	226365	458791	0-10, 10-20, 20-35, 35-45	4
11	226468	458839	0-15, 15-30, 30-45, 45-55	4
12	226485	458876	0-10, 10-20, 20-30, 30-40	4
13	226465	458973	0-10, 10-20, 20-35, 35-45	4
14	226527	459043	0-10, 30-40, 40-50	3
15	226652	459040	0-10	1
16	226620	459188	0-10	1

Op 2 juli 2019 werd op locatie 4 een grondwatermonster (GW 1) verzameld en op locatie OW 1 een monster van het aanwezige oppervlaktewater (Figuur 5).



Figuur 5. Kaart met de ligging van de boorlocaties. De nummering van de boorlocaties komt overeen met de XY-coördinaten in Tabel 2 en Tabel 3. Ondergrond: Open Topografie Nederland en AHN2 (Esri Nederland).

Tabel 3. XY-coördinaten, landgebruik (GS = grasland), actuele grondwaterstand (GWS; 1 juli 2019), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) Grondwaterstanden zijn gegeven in cm onder maaiveld. Voor ligging van de locaties zie Figuur 5.

Locatie	X	Y	Landgebruik	GWS	GLG	GHG
1	226190	458799	GS	130	130	70
2	226217	458839	GS	130	120	50
3	226320	459055	GS	120	120	60
4/ GW1	226267	458753	GS	90	100	40
5	226402	458990	GS	120	120	60
6	226240	458594	GS	100	130	40
7	226293	458655	GS	120	100	50
8	226286	458702	GS	110	100	60
9	226386	458744	GS	120	130	50
10	226365	458791	GS	110	120	40
11	226468	458839	GS	140	150	90
12	226485	458876	GS	130	150	80
13	226465	458973	GS	130	130	70
14	226527	459043	GS	120	110	60
15	226652	459040	GS	>150	>150	70
16	226620	459188	GS	130	110	70
OW1	226352	458720				

3.2 Chemische analyse

Per bodemmonster werden vervolgens de volgende variabelen bepaald:

- vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid;
- Olsen-P (plantenbeschikbare P fractie);
- totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide);
- pH-zout en zoutuitwisselbare concentraties van o.a. ammonium, nitraat en calcium.

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

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

Olsen-extractie

Plantenbeschikbaar fosfaat werd met behulp van een Olsen-extractie (Olsen e.a., 1954) bepaald. Het principe van deze extractiemethode is dat natriumbicarbonaat (NaHCO_3) zorgt voor een daling van de concentratie opgeloste calciumionen via de vorming van onoplosbaar calciumcarbonaat (CaCO_3). Hierdoor stijgt de concentratie opgelost fosfaat. Natriumbicarbonaat brengt ook de

.....

labiele, voor planten snel beschikbare, proportie van de organische fractie in oplossing. Voor de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4°C bewaard tot verdere analyse. De Olsen-P concentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H₂O₂, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4 °C bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in µmol per liter bodem.

Zoutextractie (NaCl-extractie)

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

Analyse oppervlakte- en grondwater

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂-elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (CO₂ en HCO₃) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van het oppervlaktewatermonster werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De monsters voor de auto-analysers werden bewaard bij een temperatuur van -20 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.

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 het grondwater en bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur.

4. RESULTATEN BODEMCHEMISCH ONDERZOEK

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het bodemchemisch onderzoek beschreven. In paragraaf 4.2 en 4.3 wordt de bodem- en hydrochemie in het onderzoeksgebied beschreven. In paragraaf 4.4 worden de kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur besproken en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Tenslotte worden in paragraaf 4.5 enkele algemene aandachtspunten bij natuurontwikkeling gegeven.

4.2 Bodemchemie

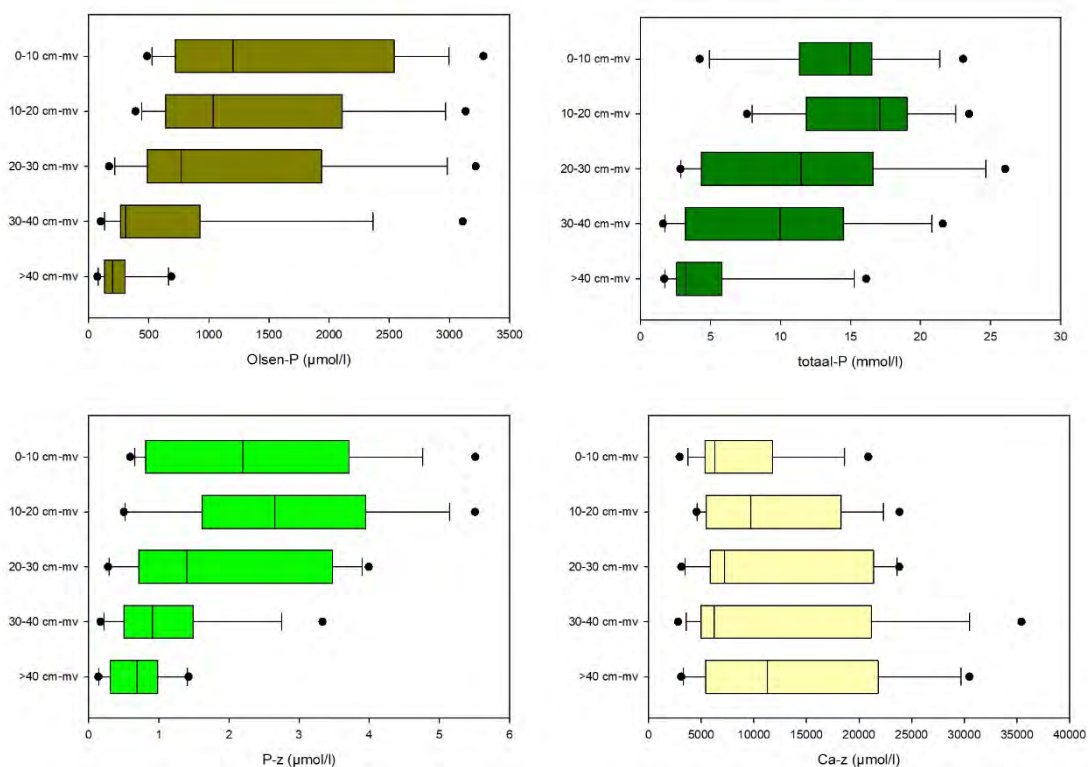
Op 16 locaties werd de bodemchemie van verschillende bodemlagen in beeld gebracht. De percelen van de provincie (locatie 1 t/m 13) worden nog gebruikt als agrarisch grasland en de percelen van Staatsbosbeheer (locatie 14 t/m 16) zijn al enkele jaren buiten agrarisch gebruik (Tabel 3). Op alle locaties werd een matig tot sterk siltige zandige bouwvoor aangetroffen, variërend in dikte van 25 tot 55 cm (Bijlage 1). Alleen op locatie 2 werd ondiep een leempakket aangetroffen (Bijlage 1 en Bijlage 2). Op locatie 7, 8 en 9 werd een pakket sterk veraard bosveen aangetroffen (Bijlage 1 en Bijlage 2). Op het moment van bemonstering (1 juli 2019) stond het grondwater als gevolg van de droogte op veel locaties al rond de GLG. De actuele grondwaterstand varieerde van 90 tot meer dan 150 cm-mv (Tabel 3).

Voor het ontwikkelen van soortenrijke natuurtypen is het belangrijk dat de fosfaatbeschikbaarheid laag is. Voor het vaststellen van de fosfaatbeschikbaarheid van de bodem zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van belang, waarbij de Olsen-P een maat is voor de voor planten beschikbare fosfaatfractie. De totaal-P concentratie geeft de totale P voorraad in de bodem waarvan een deel op termijn weer beschikbaar kan komen voor planten. 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.

Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurtypen worden de volgende Olsen-P streefconcentraties gehanteerd (de totaal-P concentratie kan sterk variëren):

- Droog heischraalgrasland: (<)300-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- Nat schraalland: (<)300-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- Vochtig hooiland, waaronder dotterbloemhooiland: 300-800 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- Beekbegeleidend bos (berkenbroekbos/elzenbroekbos): 200-800 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- Soortenrijk kruiden- en faunarijk grasland: 900-1200 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- (soortenarmer) kruiden- en faunarijkgrasland: >1200 $\mu\text{mol/l}$ bodem (soortenrijker als: P-z <2 $\mu\text{mol/l}$ en/of $\text{NO}_3\text{-z}$ <100 $\mu\text{mol/l}$).

In Figuur 6 worden boxplots van een aantal belangrijke bodemchemische variabelen weergegeven op verschillende diepten. Op de meeste locaties is de toplaag (0-10 cm-mv) van de bouwvoor verrijkt met plantbeschikbaar fosfaat (487-3284 μmol Olsen-P/l bodem) en totaal-P (4,2-22,2 mmol/l bodem). De labiel-P concentratie is maar beperkt verhoogt (0,6-5,5 $\mu\text{mol/l}$) en is meestal gunstig (Figuur 6). Pas in bodemlagen >30 cm-mv is de gemiddelde Olsen-P concentratie voldoende laag (<500 $\mu\text{mol/l}$) waardoor deze bodems wel geschikt zijn voor de beoogde soortenrijke vegetatietypen.



Figuur 6. Boxplots van de Olsen-P, totaal-P en P- en Ca-zout concentraties van de geanalyseerde bodems. In de Boxplot is onderscheid gemaakt tussen de volgende bodemlagen: 0-10 cm-mv (n=15), 10-20 cm-mv (n=12), 20-30 cm-mv (n=11), 30-40 cm-mv (n=13) en >40 cm-mv (n=10). De dikte van de bouwvoor is gemiddeld ca. 30 cm. 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 in het onderzoeksgebied is matig ijzerhoudend tot zeer ijzerrijk met een gemiddelde concentratie totaal-Fe van 148 mmol/l bodem (Figuur 6). De hoogste ijzerconcentraties zijn aanwezig op locaties 2, 6, 7 en 9 (>300 mmol/l), deze locatie liggen in het zuiden van het onderzoeksgebied. Hoge ijzerconcentraties duiden op (voormalige) invloed van ijzerrijke kwel of afzettingen van ijzerrijk slib. IJzer(hydr)oxides binden goed fosfor, waardoor dit in ijzerrijke bodems eenvoudig kan accumuleren. De bodem in het onderzoeksgebied varieert van calciumarm tot calciumrijk met een gemiddelde concentratie totaal-Ca van 43 mmol/l bodem en uitwisselbaar-Ca (Ca-z) \pm 11.300 μ mol/l bodem (zie ook Figuur 6). De calciumconcentraties volgen dezelfde trend als de ijzerconcentraties, waarbij de sterk calciumhoudende gronden in het zuidelijke deel van het onderzoeksgebied voorkomen. De concentratie totaal-Al is gemiddeld 121 mmol/l bodem en is een maat voor de hoeveelheid lutum in de bodem.

Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur is het niet alleen van belang dat de fosfaatconcentraties laag genoeg zijn, maar ook de concentratie stikstof mag niet te hoog zijn. De concentraties nitraat en ammonium zijn bepaald in de zoutextracten (Tabel 7). Er is veel variatie in de aangetroffen stikstofconcentraties van nauwelijks tot sterk verrijkt met een gemiddelde nitraatconcentratie van 227 μ mol/l en ammoniumconcentratie van 71 μ mol/l. Op locaties 4, 6, 7 en 9 zijn de hoogste nitraatconcentraties gemeten in de bemonsterde diepten (> 400 μ mol/l). Dit kan wijzen op zeer recentelijke bemesting en uitspoeling.

Hoge stikstofconcentraties zijn vaak een minder groot probleem voor de beoogde natuurontwikkeling dan fosfaat. Nitraat is, in tegenstelling tot fosfaat, relatief mobiel en zal als

.....
 gevolg van uitspoeling en nitrificatie- en denitrificatieprocessen op een natuurlijke manier uit het systeem verdwijnen (zie ook Figuur 2). De uitspoeling van nitraat naar het grondwater kan wel een negatief effect hebben op de grondwaterkwaliteit. Het kan leiden tot pyrietoxidatie en daarmee tot sulfaatverrijking van het grondwater. Daarnaast bevat nitratrijk grondwater vaak weinig opgelost ijzer.

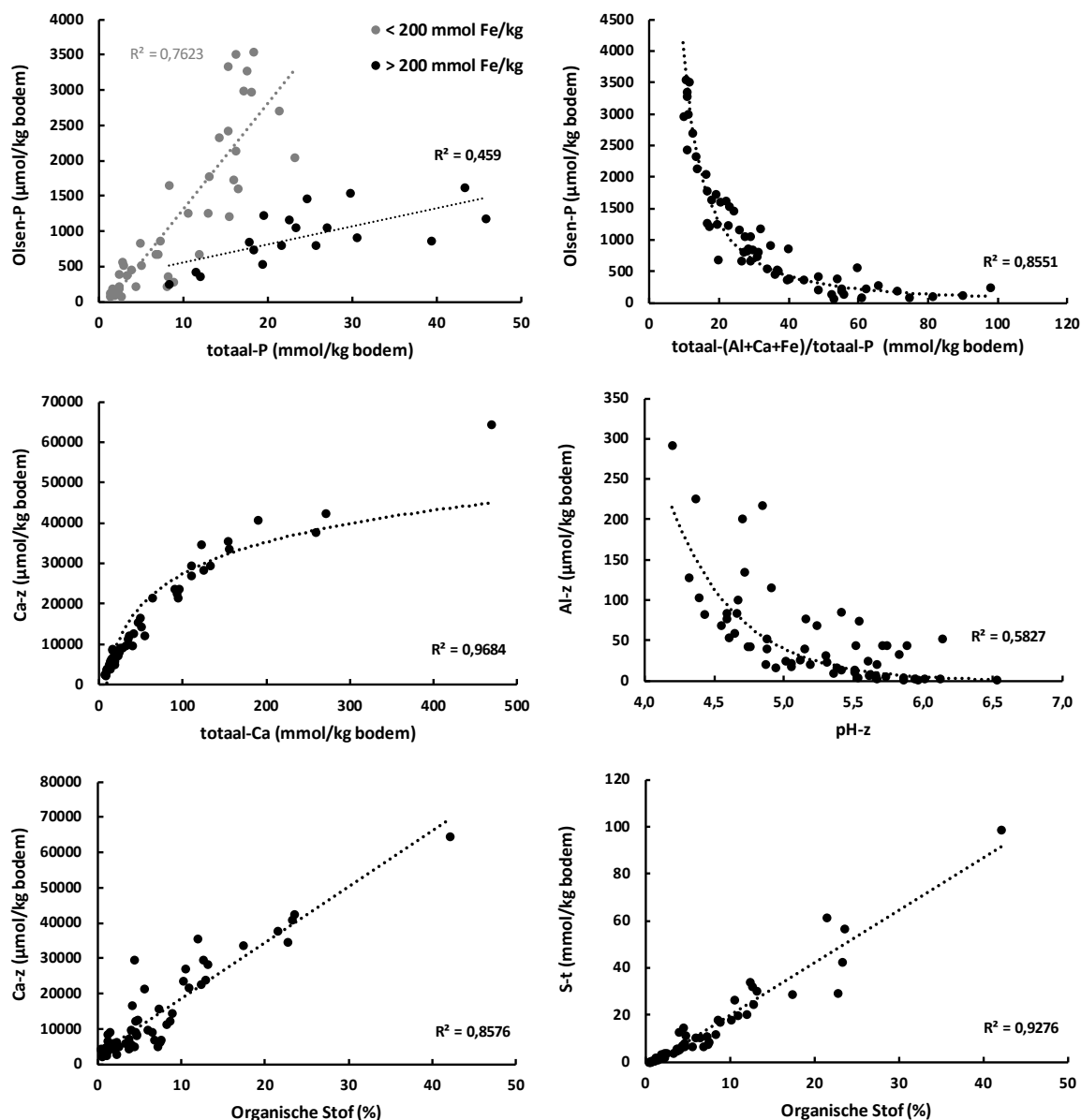
Bodemcorrelaties

In Figuur 7 (linksboven) zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van de geanalyseerde bodems tegen elkaar uitgezet. Er is een positieve correlatie aanwezig tussen de totale voorraad aan fosfor en beschikbaar P voor planten (Olsen-P). In bodems kan fosfor zeer effectief geïmmobiliseerd worden 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. De correlatie tussen de totale voorraad aan fosfor en beschikbaar P is afhankelijk van de concentratie ijzer in de bodem, waarbij in zeer ijzerrijke bodems ($> 200 \text{ mmol/l}$) in verhouding minder P beschikbaar is (minder steile helling van de trendlijn; Figuur 7 linksboven).

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 7 (rechtsboven) 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.

Behalve de nutriëntenbeschikbaarheid is de zuurgraad van de bodem in belangrijke mate sturend voor de vegetatieontwikkeling. De buffercapaciteit geeft de mate aan waarin een bodem in staat is te compenseren voor veranderingen in zuurconcentraties. Bij bodem-pH waarden hoger dan pH 6,2 hebben we te maken met (bi)carbonaatbuffering (het oplossen van kalk). Wanneer in de bodems geen carbonaat meer aanwezig is, komt de bodem in het kation-uitwisselings-buffertraject terecht. Dit buffertraject bevindt zich globaal tussen een pH van 4,5 en 6,5 (de pH zout is overwegend 0,5-1 pH eenheid lager dan de pH water). Een zoutextract geeft een beeld van de hoeveelheid uitwisselbare basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+). Organisch materiaal vormt een belangrijk deel van het bodemadsorptiecomplex in de bodem, zodat bij een toename van de concentratie organisch stof ook meer kationen als calcium gebonden kunnen worden (Figuur 7 linksonder). Indien het bodemadsorptiecomplex volledig is opgeladen met basische kationen is de basenverzadiging 100%. In het gebied is de indicatieve basenverzadiging gemiddeld 98,2% (Tabel 7), dus het bodemadsorptiecomplex is grotendeels opgeladen met basische kationen.

Voor de mate van buffering is de concentratie zoutuitwisselbaar calcium het meest indicatief. Uit Figuur 7 (linksmidden) blijkt dat de concentratie totaal-Ca en de uitwisselbare calciumconcentratie (Ca-z) zeer goed correleren in dit gebied. De correlatie is niet lineair, maar boven een concentratie totaal-Ca van ca. 50 mmol/kg neemt de concentratie uitwisselbaar calcium minder snel of bijna niet toe. De verklaring hiervoor is dat in calciumrijke bodems niet alleen calcium gebonden zit aan het bodemadsorptiecomplex, maar ook voorkomt in de vorm van kalk (calciumcarbonaat). De concentratie totaal-Ca is, net als de concentratie Ca-z, een indicatieve parameter voor het vaststellen van de mate van buffering van een bodem. Deze parameters zijn in grote mate bepalend voor de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. In dit gebied is er sprake van een zwak tot zeer sterk gebufferde bodem. Op zwak gebufferde bodems komen heide en heischraalgraslanden voor en op goed gebufferde bodems kan een blauwgrasland of vochtig hooiland tot ontwikkeling komen.



Figuur 7. Correlaties tussen enkele relevante bodemchemische variabelen. De concentraties zijn uitgezet per kg droge bodem.

Op een aantal locaties is de bodem vrijwel niet gebufferd. Deze bodems kunnen in de aluminiumbufferrange (pH < 4,5) komen. Alle basische kationen zijn dan vervangen door zuurionen (H^+), de concentratie zuurionen in het bodemvocht neemt dan toe en de pH zal dalen. Bij een pH lager dan ca. 4,5 gaan aluminiumhydroxiden in oplossing, waarbij toxisch Al^{3+} vrijkomt. Op de locaties waar de bodem vrijwel ongebufferd is (pH-z < 4,5, Ca-t < 10 mmol/l en/of Ca-z < 4000 $\mu\text{mol/l}$) zijn hogere aluminiumconcentraties (> 100 $\mu\text{mol/l}$) in het zoutextract gemeten (Figuur 7, rechtsmidden).

Organische stof kan een bron van zwavel zijn, dit is het geval op de onderzoeklocatie. Uit Figuur 7 (rechtsonder) blijkt dat bij een (relatief) hoge hoeveelheid organisch stof ook de S-t concentratie hoger is. In het gebied is de hoeveelheid zwavel in de bodem over het algemeen laag (gemiddeld 9,3 mmol/l S-t). In de bodemlagen met een hoger organisch stofpercentage, voornamelijk aangetroffen op locaties 4, 7, 8 en 9, zijn hogere zwavelconcentraties aanwezig (>20 mmol/l S-t).

.....

Zwavelrijke bodems kunnen als gevolg van oxidatieprocessen sterk verzuren. De verhouding tussen zwavel, magnesium en calcium (S/(Mg+Ca)) is op alle locaties gunstig (< 0,67; Lucassen e.a., 2002), zodat er geen risico bestaat op verzuring bij droogval.

4.3 Hydrochemie

Onderdeel van het onderzoek was het verzamelen en analyseren van het oppervlaktewater in de nabijgelegen poel en het grondwater bij locatie 4 (Figuur 5). Het oppervlaktewater is sterk gebufferd met een alkaliniteit van 3,5 meq/l (Tabel 4). De fosforconcentratie is vrij hoog (5,2 $\mu\text{mol/l}$), maar de stikstofconcentratie is laag (14,2 $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ en 1,5 $\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$). Het oppervlaktewater is zwak ijzerhoudend (29 $\mu\text{mol/l}$), waarbij de aanwezigheid van gereduceerd ijzer in het oppervlaktewater duidt op anaerobe omstandigheden.

Het grondwater op locatie 4 is goed gebufferd (> 5000 $\mu\text{mol bicarbonaat/l}$), maar ook rijk aan sulfaat (1813 $\mu\text{mol/l}$). Bij de vernatting van het gebied moet hiermee rekening gehouden worden, aangezien sulfaat voor een extra mobilisatie van ijzergebonden P kan zorgen. Het grondwater is verder fosfaatarm (0,6 $\mu\text{mol/l}$) en licht verrijkt met stikstof (70,7 $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ en 5,3 $\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$). Het grondwater bevat vrijwel geen ijzer meer (1 $\mu\text{mol/l}$), dit kan het gevolg zijn van nitraatuitspoeling of van de droogte (ijzer geoxideerd in de bodem).

Zowel het grond- als oppervlaktewater is relatief rijk aan chloride (853 en 1185 $\mu\text{mol/l}$), wat duidt op een antropogene invloed en/of verdroging.

Tabel 4. Kwaliteit van het oppervlaktewater (OW) en het grondwater (GW) op locatie 4. Voor ligging van de locaties zie Figuur 5. Concentraties zijn, uitgezonderd de pH en alkaliniteit, gegeven in $\mu\text{mol/l}$. Alk = alkaliniteit (zuurbufferendvermogen) in meq/l. Alle concentraties in $\mu\text{mol/l}$, uitgezonderd pH, alkaliniteit en EGV ($\mu\text{S/cm}$). Het grondwater is verzameld op een diepte van 50-150 cm-mv (Bijlage 1).

Code	Type	pH	Alk	EGV	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Al ³⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	P	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
OW 1	OW	8,1	3,5	421	51	2951	0	1341	29	349	5,2	62	1,5	14,2	0,6	910	62	853
GW 1	GW	7,5	-	927	367	5279	0	3985	1	456	0,6	1813	5,3	70,7	0,2	878	250	1185

4.4 Kansen voor de natuurontwikkeling

Doel van het huidige onderzoek is om de kansen voor de ontwikkeling van een aantal (voormalige) agrarische percelen te bepalen. In het onderzoeksgebied worden de natuurbeheertypen droog schraalgrasland (N11.01), nat schraalland (N10.01), vochtig hooiland (N10.02), rivier- en beekbegeleidend bos (N14.01) en haagbeuken- en essenbos (N14.03) nagestreefd. De kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden worden sterk bepaald door de Olsen-P en totaal-P concentraties in de bodem (zie Hoofdstuk 2).

Natuurbeheertypen

Welke natte natuurbeheertypen zich daadwerkelijk in het gebied kunnen ontwikkelen is onder andere afhankelijk van de voedselrijkdom van de bodem, de mate van buffering van de bodem en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater. In Tabel 5 staan voor een groot aantal natte natuurbeheertypen de abiotische randvoorwaarden aangegeven. Voorwaarde bij de ontwikkeling van soortenrijke voedselarme systemen blijft de lage fosfaatbeschikbaarheid voor planten. De metingen van de Olsen-P (en totaal-P) concentraties zijn dan ook in belangrijke mate leidend in de natuurontwikkelingskansen.

Tabel 5. 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	Grote zeggenmoeras	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 uitmijnen binnen een redelijke termijn te realiseren is, kan op basis van de Olsen-P en totaal-P concentratie een indicatieve verschrallingsduur berekend worden. Het is mogelijk dat de berekende verschrallingsduur overschat wordt indien er extra fosfaatimmobilisatie plaatsvindt (zie vorige paragraaf).

De verschrallingsduur voor uitmijnen is berekend op basis van het verschil tussen de actuele totaal-P concentratie en de totaal-P streefconcentratie, uitgaande van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar (Chardon, 2008). Deze afvoer kan gehaald worden met uitmijnen met grasklaver in combinatie met kalibemesting, maar de daadwerkelijke onttrekking is afhankelijk van de omstandigheden (o.a. hydrologie). De streefconcentratie voor totaal-P is hierbij niet op een standaardwaarde vastgesteld, maar berekend aan de hand van de streefwaarde voor Olsen-P en de actuele beschikbare P-fractie (Olsen-P/totaal-P-ratio). Stel dat de actuele P-fractie 0,1 is (10% van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 µmol Olsen-P/l de streefwaarde voor totaal-P 5 mmol/l ((0,5/10) x 100). Stel dat bij een ijzer- en kalkrijke bodem de actuele P-fractie slechts 0,05 is (5% van de totale P voorraad is beschikbaar), dan is de streefwaarde voor totaal-P 10 mmol/l ((0,5/5) x 100). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de 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 40 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschrallingsduur 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.

Bodembuffering

Naast de P-beschikbaarheid en hydrologische omstandigheden bepaalt de mate van bodembuffering in sterke mate welke natuurbeheertypen tot ontwikkeling kunnen komen (Tabel 6). Om inzicht te krijgen in de bodembuffercapaciteit is van alle bodems de totale calciumconcentratie bepaald en de concentratie zoutuitwisselbaar calcium.

Tabel 6. 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 bekaalkingsadvies 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).

						N07.01	N11.01				N14.02		
						N06.04	N06.04	N10.01	N10.01	N10.02	N14.01		
Codes natuurbeheertypen						N06.04	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)		
Categorie	Ca-NaCl (µmol/l)		Totaal calcium (mmol/l)		Basenverzadiging	Droge heide Natte heide	Droog heischraal grasland Vochtig heischraal grasland	Kleine zeggen vegetatie	Blauwgrasland	Veldrusschraalland	Dotterbloemhooiland & Elzenbroekbossen	Bekaalkingsadvies (kg/ha) voor tegengaan verzuring, ammoniumophoping en/of vergroten soortenrijkdom	Risico ammoniumtoxiciteit zonder bekaalking
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					

Kansen voor natuurontwikkeling per locatie

In deze paragraaf worden op basis van bodemtype en bodemchemie (Tabel 7) 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. Vaak is de huidige grondwaterstanden te laag voor de gewenste ontwikkelingen ondanks een eventuele ontgroning. Om de gewenste ontwikkelingen mogelijk te maken zijn aanvullende hydrologische maatregelen nodig. Verder dient het afgraven van de P-rijke bodem 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.

In Tabel 7 staat de berekende verschrallingsduur via maaien en afvoeren voor iedere locatie en diepte gegeven. Deze verschrallingsduur is berekend voor een Olsen-P streefconcentratie van zowel 300, 500, 800 als 1200 µmol/l. De streefwaarde van 1200 µmol Olsen-P/l kan gehanteerd worden voor goed ontwikkelde kruidenrijke graslanden. 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 verschrallingsduur via alleen maaien en afvoeren kan vanwege het ontbreken van gegevens over de toplaag van de bodem niet bepaald worden.

Tabel 7 - volgende pagina. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) van bodemlocaties. GWS = actuele grondwaterstand (cm -mv); HZT = horizont; OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem; Ols-P = Olsen-P; -t = totale concentratie, -z = zoutuitwisselbare (labiele) concentraties, BV = indicatieve basenverzadiging, M3/M5/M8/M12 = berekende verschrallingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren (tot een streefconcentratie van 300/500/800/1200 µmol Olsen-P /l) (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De Olsen-P en zoutuitwisselbare concentraties zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO3-z	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	µmol/l	µmol/l	jaren	
<5	<150	<10	<4000	<20	<1	<50	0	voldoende P-arm
6-10	151-250	10-20	4001-8000	21-50	2-5	51-100	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	8001-15000	51-100	6-10	101-200	11-40	matig kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	401-750	31-50	15001-25000	101-150	11-30	201-400	41-80	kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
>50	>750	51-80	25001-40000	151-300	31-50	401-800	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
		>80	>40000	>300	51-100	801-1200	201-400	ongeschikt voor verschralling I
					>100	>1200	>400	ongeschikt voor verschralling II

.....
verschrallingsbeheer (min. 12 jaar maaien en afvoeren; P-concentratie diepere bodem niet bekend) geschikt voor de ontwikkeling van een (droog) heischraalgrasland (Ca-t: 13 mmol/l en Ca-z: \pm 5.200 μ mol/l).

Advies: 30 cm afgraven in combinatie met min. 12 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een droog heischraalgrasland.

Locatie 2 (GLG = 120 cm-mv, GHG = 50 cm-mv)

De bouwvoor (0-25 cm-mv) is ijzerrijk en zwak-matig calciumhoudend (totaal-Fe: 91-123 mmol/l, Ca-t: 22-45 mmol/l en Ca-z: \pm 8.100-10.100 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1684-2396 μ mol/l; P-t: 18,9-19,1 mmol/l). De leembodem onder de bouwvoor (25-40 cm-mv) is fosfaatarm (Olsen-P: 292 μ mol/l en totaal-P: 10,0 mmol/l) en is geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 132 mmol/l en Ca-z: \pm 35.400 μ mol/l). Echter ondanks deze (eventuele) ontgronding is de GLG zonder aanvullende hydrologische maatregelen te laag voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland.

Advies: 25 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (hydrologische maatregelen noodzakelijk).

Locatie 3 (GLG = 120 cm-mv, GHG = 50 cm-mv)

De bouwvoor (0-15 cm-mv) is ijzerrijk en matig calciumhoudend (totaal-Fe: 75 mmol/l, Ca-t: 23 mmol/l en Ca-z: \pm 7.700 μ mol/l). De bouwvoor is licht verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1203 μ mol/l; P-t: 12,3 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (15-25 cm-mv) is met aanvullend verschrallen van circa 17 jaar voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 766 μ mol/l en totaal-P: 7,6 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (Ca-t: 20 mmol/l en Ca-z: \pm 6.400 μ mol/l). Het is ook mogelijk om 35 cm af te graven zodat een bodem aan het oppervlak komt (35-45 cm-mv; Olsen-P: 102 μ mol/l en totaal-P: 1,6 mmol/l) die na ontgraving direct geschikt is voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (Ca-t: 11 mmol/l en Ca-z: \pm 4.800 μ mol/l).

Advies: 15 cm afgraven in combinatie met 17 jaar maaien en afvoeren of 35 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland.

Locatie 4 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 40 cm-mv)

De bovenkant van de bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk en sterk calciumhoudend (totaal-Fe: 195-230 mmol/l, Ca-t: 92-107 mmol/l en Ca-z: \pm 21.000-24.000 μ mol/l). De bouwvoor is slechts matig verrijkt met fosfor (Olsen-P: 855 μ mol/l; P-t: 16,5-18,9 mmol/l). De toplaag is dusdanig fosfaatarm dat met 7 jaar verschrallen de ontwikkeling van, afhankelijk van het beheer, een dotterbloemhooiland of elzenbroekbos mogelijk is. Het advies is wel om de zode te verwijderen om vestigingsplekken voor de gewenste soorten te creëren. De huidige grondwaterstanden zijn te laag voor deze vegetatietypen. Het grondwater op deze locatie is sterk gebufferd, maar ook sulfatrijk (Tabel 4). Bij het nemen van vernattingsmaatregelen moet hiermee rekening gehouden worden, aangezien sulfaat voor een extra mobilisatie van ijzergebonden P kan zorgen.

Advies: zode verwijderen en ca. 7 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland of elzenbroekbos (hydrologische maatregelen noodzakelijk).

.....
Locatie 5 (GLG = 120 cm-mv, GHG = 60 cm-mv)

De bouwvoor (0-35 cm-mv) is ijzerrijk en zwak-matig calciumhoudend (totaal-Fe: 62-128 mmol/l, Ca-t: 13-28 mmol/l en Ca-z: \pm 5.400-9.100 μ mol/l). De fosfaatverrijking in de bouwvoor neemt, als gevolg van het omwerken van de bouwvoor (Bijlage 1), toe naarmate de diepte toeneemt (Olsen-P: 487-1224 μ mol/l; P-t: 4,2-15,7 mmol/l). De toplaag is dusdanig fosfaatarm (0-10 cm-mv) dat de ontwikkeling van een heischraalgrasland of blauwgrasland mogelijk is. Vanwege de toenemende fosfaatconcentraties in de bouwvoor is er een groot risico op verrijking vanuit de diepere bodem, zeker wanneer er vernattingsmaatregelen genomen gaan worden. Veiliger is om de volledige omgewerkte bouwvoor te verwijderen. De zandbodem onder de bouwvoor (35-45 cm) is geschikt (Olsen-P: 298 μ mol/l; P-t: 3,3 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (Ca-t: 16 mmol/l en Ca-z: \pm 5.800 μ mol/l).

Advies: 35 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland.

Locatie 6 (GLG = 130 cm-mv, GHG = 40 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is zeer ijzerrijk en sterk calciumhoudend (totaal-Fe: 480-523 mmol/l, Ca-t: 42-52 mmol/l en Ca-z: \pm 14.000-17.300 μ mol/l). De bouwvoor is slechts matig verrijkt met fosfor (Olsen-P: 564-720 μ mol/l; P-t: 20,4-23,0 mmol/l). De toplaag is dusdanig fosfaatarm (0-10 cm-mv) dat de ontwikkeling van een zwak gebufferd dotterbloemhooiland mogelijk is. Het advies is wel om de zode te verwijderen om vestigingsplekken voor de gewenste soorten te creëren. De huidige grondwaterstanden zijn te laag voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland.

Advies: zode verwijderen t.b.v. de ontwikkeling van een zwak gebufferd dotterbloemhooiland (hydrologische maatregelen noodzakelijk).

Locatie 7 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 50 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is zeer ijzerrijk en sterk calciumhoudend (totaal-Fe: 238-266 mmol/l, Ca-t: 74-75 mmol/l en Ca-z: \pm 17.100-18.700 μ mol/l). De bouwvoor is slechts matig verrijkt met fosfor (Olsen-P: 584-636 μ mol/l; P-t: 14,5-17,1 mmol/l). De toplaag (0-10 cm-mv) is dusdanig fosfaatarm dat de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland mogelijk is. Het advies is wel om de zode te verwijderen om vestigingsplekken voor de gewenste soorten te creëren. De huidige grondwaterstanden zijn te laag voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland.

Advies: zode verwijderen t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (hydrologische maatregelen noodzakelijk).

Locatie 8 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 60 cm-mv)

De onderkant van de bouwvoor (10-20 cm-mv) is zeer ijzerrijk en matig-sterk calciumhoudend (totaal-Fe: 203 mmol/l, Ca-t: 44 mmol/l en Ca-z: \pm 13.800 μ mol/l). De onderkant van de bouwvoor is niet verrijkt met fosfor (Olsen-P: 391 μ mol/l; P-t: 8,9 mmol/l). Deze laag is dusdanig fosfaatarm dat de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland mogelijk is. De huidige grondwaterstanden zijn te laag voor deze ontwikkeling.

Advies: 10 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (hydrologische maatregelen noodzakelijk).

.....
Locatie 9 (GLG = 130 cm-mv, GHG = 50 cm-mv)

De toplaag van de bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk en matig-sterk calciumhoudend (totaal-Fe: 248-313 mmol/l, Ca-t: 42-71 mmol/l en Ca-z: \pm 11.800-18.800 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1201-1211 μ mol/l; P-t: 20,3-23,5 mmol/l). De onderkant van de bouwvoor (20-30 cm-mv) is met aanvullend verschralen van circa 14 jaar voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 972 μ mol/l en totaal-P: 26,0 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 156 mmol/l en Ca-z: \pm 22.800 μ mol/l). Het is ook mogelijk om 30 cm af te graven zodat een sterk veraarde bosveenbodem aan het oppervlak komt (30-40 cm-mv; Olsen-P: 310 μ mol/l en totaal-P: 14,2 mmol/l) die na ontgraving direct geschikt is voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland op veen (Ca-t: 169 mmol/l en Ca-z: \pm 23.100 μ mol/l). De huidige grondwaterstanden zijn te laag voor deze ontwikkeling. Onder te droge condities bestaat ook het risico op verdere veraarding van het bosveen met verruiging tot gevolg.

Advies: 20 cm afgraven in combinatie met 14 jaar aanvullend maaien en afvoeren of 30 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (hydrologische omstandigheden).

Locatie 10 (GLG= 120 cm-mv, GHG = 40 cm-mv)

De bouwvoor (0-35 cm-mv) is matig ijzerhoudend en zwak calciumhoudend (totaal-Fe: 60-73 mmol/l, Ca-t: 13-15 mmol/l en Ca-z: \pm 4.300-5.000 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1937-2582 μ mol/l; P-t: 9,7-16,3 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (35-45 cm-mv) is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 662 μ mol/l en totaal-P: 3,9 mmol/l) om met een beperkt aanvullend verschralingsbeheer (min. 3 jaar maaien en afvoeren, chemie diepere bodem niet bekend) voor de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland (Ca-t: 12 mmol/l en Ca-z: \pm 4.800 μ mol/l).

Advies: 35 cm afgraven met min. 3 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland.

Locatie 11 (GLG = 150 cm-mv, GHG = 90 cm-mv)

De bouwvoor (0-45 cm-mv) is matig ijzerhoudend en zwak calciumhoudend (totaal-Fe: 72-82 mmol/l, Ca-t: 13-16 mmol/l en Ca-z: \pm 5.900-6.200 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 3111-3284 μ mol/l; P-t: 14,2-16,6 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (45-55 cm-mv) is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 688 μ mol/l en totaal-P: 3,3 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t: 9 mmol/l en Ca-z: \pm 3.100 μ mol/l). Om de bodembuffering te herstellen en de soortenrijkdom te vergroten wordt geadviseerd om eenmalig te bekalken met 2000 kg Dolokal per hectare.

Advies: 45 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heide (eenmalige bekalking).

Locatie 12 (GLG = 150 cm-mv, GHG = 80 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is matig ijzerhoudend en zwak calciumhoudend (totaal-Fe: 71-88 mmol/l, Ca-t: 12-14 mmol/l en Ca-z: \pm 4.300-4.700 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 2809-3135 μ mol/l; P-t: 15,0-17,9 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (20-30 cm-mv) is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 493 μ mol/l en totaal-P: 3,0 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t: 10 mmol/l en Ca-z: \pm 3.100 μ mol/l). Om de bodembuffering te herstellen en de soortenrijkdom te vergroten wordt geadviseerd om eenmalig te bekalken met 2000 kg Dolokal per hectare.

.....
Advies: 20 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heide (eenmalige bekalking).

Locatie 13 (GLG = 130 cm-mv, GHG = 70 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk en matig calciumhoudend (totaal-Fe: 107-127 mmol/l, Ca-t: 27-29 mmol/l en Ca-z: \pm 8.100-9.300 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1337-1415 μ mol/l; P-t: 13,1-13,7 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (20-35 cm-mv) is in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (max. 6 jaar maaien en afvoeren) voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 488 μ mol/l en totaal-P: 4,3 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (Ca-t: 16 mmol/l en Ca-z: \pm 5.800 μ mol/l).

Advies: 20 cm afgraven in combinatie met max. 6 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland.

Locatie 14 (GLG = 110 cm-mv, GHG = 60 cm-mv)

De toplaag van de bouwvoor (0-10 cm-mv) is ijzerrijk en calciumarm (totaal-Fe: 124 mmol/l, Ca-t: 9 mmol/l en Ca-z: \pm 3.000 μ mol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 942 μ mol/l; P-t: 7,8 mmol/l). De toplaag (0-10 cm-mv) is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 942 μ mol/l en totaal-P: 7,8 mmol/l) voor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland. Een aandachtspunt hierbij is dat de onderkant van de bouwvoor (30-40 cm-mv) P-rijker is (Olsen-P: 1244 μ mol/l en totaal-P: 19,7 mmol/l). Het is ook mogelijk om de volledige bouwvoor (40 cm) af te graven zodat een bodem aan het oppervlak komt (40-50 cm-mv; Olsen-P: 151 μ mol/l en totaal-P: 1,7 mmol/l) die na ontgraving meteen geschikt is voor de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland (Ca-t: 11 mmol/l en Ca-z: \pm 5.000 μ mol/l). De bodemchemische conditie van de bodem op 10-30 cm-mv is niet bekend.

Advies: toplaag geschikt maken t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland of 40 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland.

Locatie 15 (GLG = >150 cm-mv, GHG = 70 cm-mv)

De toplaag van de bouwvoor (0-10 cm-mv) is sterk ijzerhoudend en zwak calciumhoudend (totaal-Fe: 91 mmol/l, Ca-t: 15 mmol/l en Ca-z: \pm 6.200 μ mol/l). De toplaag is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 555 μ mol/l en totaal-P: 7,8 mmol/l) voor de ontwikkeling van een droog heischraalgrasland na minimaal 2-7 jaar verschrallen via maaien en afvoeren. Het advies is wel om de zode te verwijderen om vestigingsplekken voor de gewenste soorten te creëren. De bodemchemische conditie van de diepere bodem is niet bekend.

Advies: zode verwijderen in combinatie met min. 2-7 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een droog heischraalgrasland.

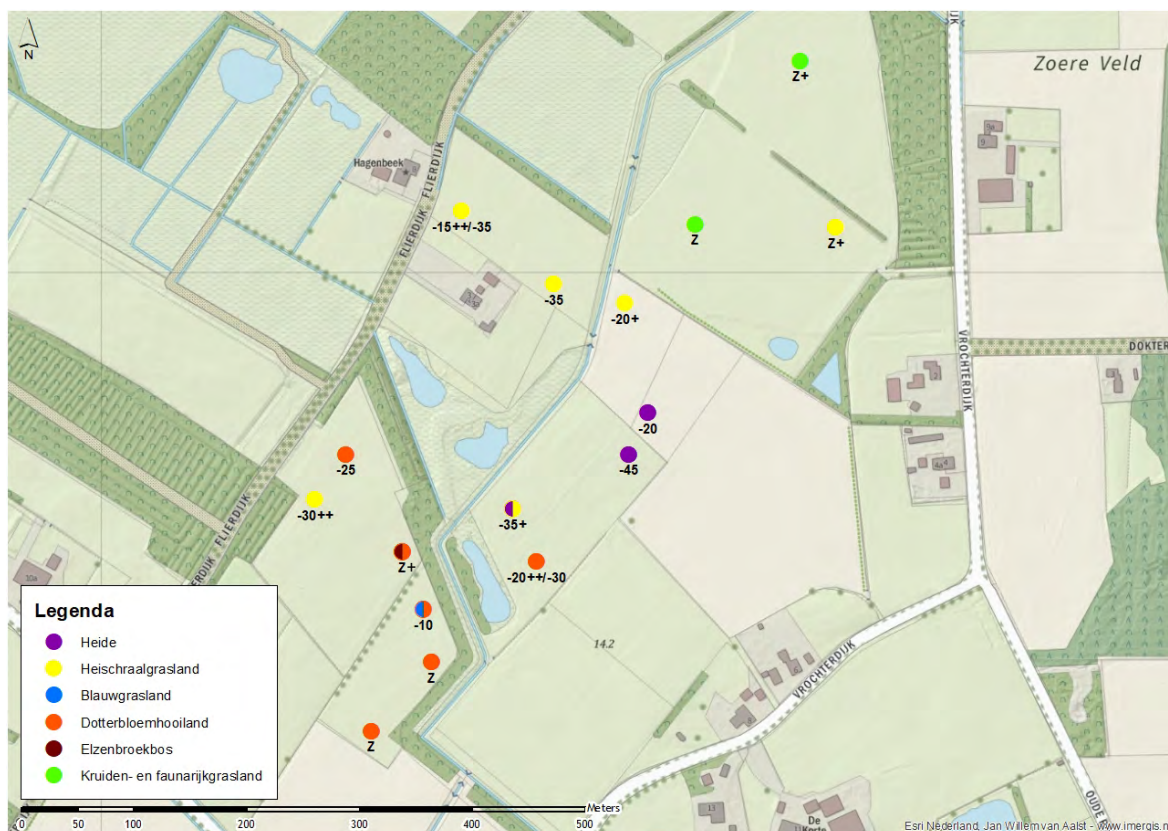
Locatie 16 (GLG = 110 cm-mv, GHG = 70 cm-mv)

De toplaag van de bouwvoor (0-10 cm-mv) is ijzerrijk en zwak calciumhoudend (totaal-Fe: 116 mmol/l, Ca-t: 17 mmol/l en Ca-z: \pm 6.300 μ mol/l). De toplaag is voldoende fosfaatarm (Olsen-P: 1352 μ mol/l en totaal-P: 11,3 mmol/l) voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland na minimaal 4 jaar verschrallen via maaien en afvoeren. De bodemchemische conditie van de diepere bodem is niet bekend.

.....
Advies: min. 4 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland.

Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling

De in de vorige paragraaf beschreven kansen voor natuurontwikkeling worden in Figuur 8 samengevat. In Figuur 8 staat per locatie de geadviseerde ontgravingsdiepte benodigd voor de ontwikkeling van de vegetatietypen ruimtelijk weergegeven. Voor sommige locaties zijn aanvullende hydrologisch maatregelen nodig.



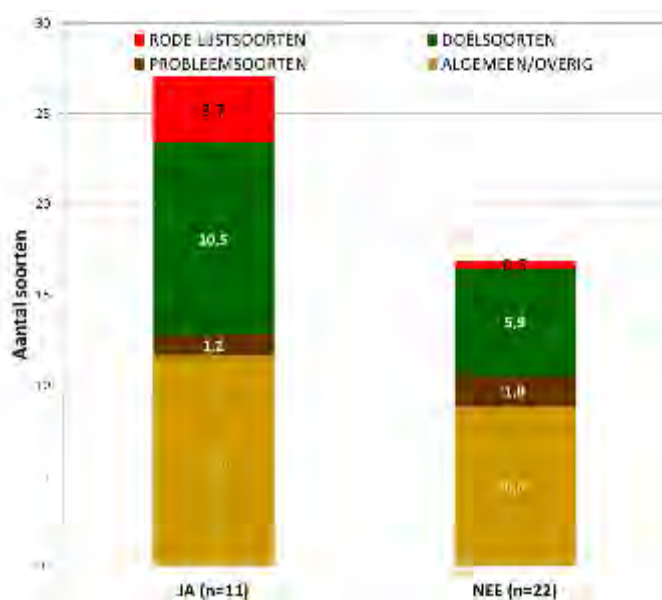
Figuur 8. Samenvatting van de benodigde ontgravingsdiepte (in cm) per locatie voor de ontwikkeling van schrale vegetatietypes. Z = verwijderen van de zode. Indien aanvullende vershraling via maaien en afvoeren benodigd is, is dit aangegeven: + = <10 jaar en ++ = >10 jaar maaien en afvoeren. Op locatie 11 en 12 (heide) is het advies om eenmalig te bekalken (2000 kg Dolokal per hectare) om de bodembuffering te herstellen en de soortenrijkdom te vergroten. De ontwikkeling van een dotterbloemhooiland of blauwgrasland is alleen mogelijk in combinatie met het nemen hydrologische maatregelen (grondwaterstanden nu te laag).

4.5 Aanvullende maatregelen

De eerste jaren na het afgraven van de voedselrijke toplaag dient maaibeheer plaats te vinden om de ontwikkeling en uitbreiding van algemene/ruigte soorten te beperken. Doordat vaak vele zaden aanwezig zijn kunnen deze algemene soorten, ook onder P-arme condities, tot ontwikkeling komen. Door middel van een maaibeheer en het aanbrengen van maaisel of plagsel kan de groei van ongewenste algemene soorten worden onderdrukt. Opgemerkt dient te worden dat de lokale

ontwikkeling van ruigtes op zichzelf niet nadelig is en zelfs kan bijdragen aan de diversiteit van een gebied. Vlinders, sprinkhanen, vogels en kleine zoogdieren kunnen hiervan profiteren.

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. 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 9).



Figuur 9. 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 ontgroning (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 ontgroning, heeft plaatsgevonden. De soorten zijn verdeeld over vier klassen: Rode Lijstsoorten, Doelsoorten, Probleemsoorten en Algemene/overige soorten. Bron: Onderzoekcentrum B-WARE. Rechts: Foto's van succesvolle ontwikkeling van nat schraalland met onder ander Moeraskartelblad, Blauwe zegge, Zwarte zegge, Blauwe knoop, Vetblad, Heidekartelblad, Gevlekte orchis, Welriekende nachtorchis, Brede orchis en Moeraswespenorchis door middel van het afgraven van de voedselrijke toplaag in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. Foto's: Mark van Mullekom.

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 9 en Figuur 10) 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 (indicatie 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.

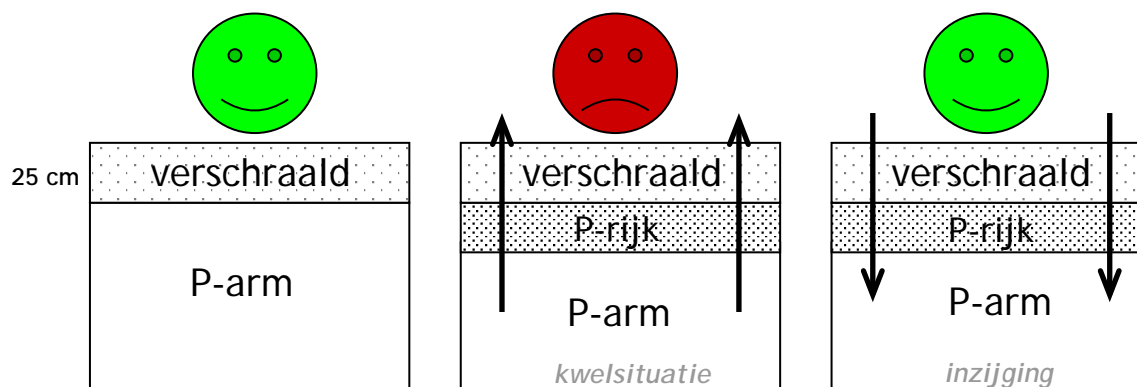
Jaarlijks maaien en afvoeren (gemiddelde P-afvoer 10 kg/ha/jaar) is op (sterk) met fosfaat verrijkte percelen niet optimaal voor een efficiënte afvoer van fosfaat. Een alternatief is uitmijnen (gemiddelde P-afvoer 40 kg/ha/jaar): een 'natuurvriendelijke' vorm van het voeren van intensieve landbouw. Wanneer 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 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 10. Het uitstrooien van heideplagsel en het resultaat na vier jaar. Foto's: Michael Roosmalen, Stichting Het Limburgs Landschap.

Op (matig) voedselrijke plekken waar niet wordt afgegraven kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland. 'Kruidenrijk grasland' is een breed begrip waardoor er eigenlijk geen harde streefconcentratie voor te hanteren is. Het kruidenpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet. Wanneer witboldominantie optreedt wordt geadviseerd het maaibeheer te vervroegen. De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de labiele P-fractie voldoende laag is ($P-z < 1$). Uit lopend onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is (circa 1000-1500 $\mu\text{mol/l}$). Om verzuuring te voorkomen wordt geadviseerd om de detailontwatering in stand te houden zodat de P-rijke toplaag voldoende droogvalt (voorkomen P-mobilisatie).

Door middel van verschrallingsbeheer kan een bodempakket van circa 25(-30) cm worden verschraald. Op plekken waar de bodem onder de 25 cm eveneens verrijkt is met fosfaat kan, wanneer de grondwaterinvloed in het maaiveld wordt hersteld (Figuur 11), P-nalevering richting de verschraalde bodemlaag optreden. Dit zou echter kunnen leiden tot verrijking van de toplaag en verrijking of de noodzaak voor aanvullende verschralling. Onder invloed van ijzerhoudend grondwater is dit risico mogelijk klein.



Figuur 11. Schematisch overzicht van verschralling 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.

Op locatie 11 en 12 wordt een eenmalige bekalking geadviseerd op calciumarme zure zandbodems. Als gevolg van verzuring (afname grondwaterinvloed en/of verzurende processen als ammoniumoxidatie) heeft uitspoeling van onder andere Ca, Mg en K plaatsgevonden waardoor er mineraalgebrek kan optreden in planten en er sprake kan zijn van aluminiumtoxiciteit (bij een hoge Al/Ca-ratio in het zoutextract). Het herstel van de buffering kan bijdragen aan de ontwikkeling van een soortenrijkere heide en/of heischraal grasland. Over het algemeen volstaat een eenmalige bekalking van 2000 kg Dolokal per hectare.

Uit onderzoek (De Graaf e.a., 2009) is tevens gebleken dat in soortenarme heideterreinen de kaliumconcentraties in het zoutextract lager zijn (mediane waarde (10-90 percentielen): 153 (88-380) $\mu\text{mol/kg}$) dan in soortenrijke heiden en heischrale graslanden (283 (110-872) $\mu\text{mol/kg}$). Uit de dataset van B-WARE zijn er indicaties dat toedienen van Dolokal het uitspoelen van K bespoedigt. Dit is ook niet onlogisch aangezien door oplossen van Ca- en Mg-carbonaten uit de Dolokal, de concentratie aan Ca^{2+} en Mg^{2+} ionen in het bodemvocht sterk toeneemt waardoor K^+ van het bodemcomplex wordt verdrongen. K-gebrek leidt niet alleen tot groeistoornissen (o.a. slechte doorworteling) maar induceert ook een stikstofoverschot in de plant en maakt deze daardoor gevoeliger voor vraat en ziekten. Het is daarom raadzaam om, in het geval van een K-arme bodem (globale richtlijn: $\text{K-NaCl} < 250 \mu\text{mol/l}$) ook een ander, relatief K-rijk, steenmeel toe te dienen (bijvoorbeeld Vulkamin). K-gebrek leidt niet alleen tot groeistoornissen (o.a. slechte doorworteling) maar induceert ook een stikstofoverschot in de plant en maakt deze daardoor gevoeliger voor vraat en ziekten. Dit verschijnsel treedt in de Maasduinen op bij Jeneverbes en Zomereik (Lucassen e.a., 2011, 2014 en 2015) en het is aannemelijk dat dit zo ook werkt bij kruiden. Op de locaties met een K-arme bodem ($\text{K-z} < 250 \mu\text{mol/l}$) en waar een eenmalige bekalking wordt geadviseerd, is het advies om te bekalken met 2000 kg Dolokal en 1000 kg K-rijk steenmeel

.....
(bijvoorbeeld Vulkamin) per hectare. Op de eventueel te bekalken locaties in het onderzoeksgebied zijn de K-z concentratie hoger dan 250 $\mu\text{mol/l}$ (\pm 750-1050 $\mu\text{mol/l}$) waardoor een aanvullende bekalking met K-houdend steenmeel niet nodig is.

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 CO_2 beschikbaar komt. Tenslotte kan inundatie met P-rijk oppervlaktewater en/of de afzetting van P-rijk slib tot verrijking en daarmee tot verzuuring leiden.

.....

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Belangrijkste conclusies

- De bodem in het onderzoeksgebied bestaat uit matig tot sterk siltig zand. Op locatie 2 is ondiep een leemlaag aanwezig en op locatie 7, 8 en 9 is een veraard veenpakket aangetroffen. De zandbodem is overwegend matig ijzerhoudend tot zeer ijzerrijk en zwak tot sterk calciumhoudend.
- Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bouwvoor in het onderzoeksgebied als gevolg van het agrarische gebruik op de meeste locaties (sterk) is verrijkt met fosfaat tot concentraties die te hoog zijn voor de ontwikkeling van soortenrijke (natte) natuur. Echter op een aantal locaties is de huidige toplaag al geschikt voor diverse soortenrijke natuur.
- Na ontgronding liggen in het gebied, afhankelijk van de grondwaterstanden, kansen voor de ontwikkeling van heide, heischraalgrasland, blauwgrasland, dotterbloemhooiland en elzenbroekbos. De ontwikkelingsmogelijkheden variëren per locatie. De ruimtelijke variatie van de natuurpotenties en de vereiste inrichtingsmaatregelen wordt weergegeven in Figuur 8:
 - Locatie 1, 3, 5, 13 en 15: na afgraving van 0-35 cm is de ontwikkeling van heischraalgrasland mogelijk;
 - Locatie 2, 6, 7 en 9: na afgraving van 0-30 cm is de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland mogelijk (na het optimaliseren van de hydrologische omstandigheden);
 - Locatie 4: na afgraven van de zode is de ontwikkeling van (afhankelijk van het beheer) dotterbloemhooiland of elzenbroekbos mogelijk;
 - Locatie 8: na afgraven van 10 cm is de ontwikkeling van blauwgrasland of dotterbloemhooiland mogelijk;
 - Locatie 10 en 14: na afgraving van 35-40 cm is de ontwikkeling van een heide/heischraalgrasland mogelijk;
 - Locatie 11 en 12: na afgraving van 20-45 cm is de ontwikkeling van een heide mogelijk;
 - Locatie 14 en 16: zode verder verschrallen voor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland;
- Voor een groot aantal locaties zijn aanvullende hydrologisch maatregelen nodig (vooral de GLG is te laag) om deze vegetatietypen te kunnen creëren.

5.2 Aanbevelingen

- Na afgraving of het bereiken van de gewenste verschraling (na verwijdering van de dichte soortenarme zode) wordt geadviseerd maaisel en/of plagsel uit een referentieterrein op te brengen. 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.

- Het grondwater (locatie 4) is rijk aan sulfaat. Bij het nemen van vernattingsmaatregelen moet hiermee rekening gehouden worden, aangezien sulfaat voor een extra mobilisatie van ijzergebonden P kan zorgen. Het is dan belangrijk om stagnante en permanent hoge waterstanden te voorkomen en te zorgen voor voldoende doorstroming van grondwater met droogval van de toplaag van de bodem in de zomerperiode.

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.
- Graaf, M.C.C. de, R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. van Diggelen & J.G.M. Roelofs (2009) Biodiversity, vegetation gradients and key geochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* 142: 2191-2201.
- 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.
- Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2002) Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. *Environmental Pollution* 120: 635-646.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Loeffen, L., Popma, J., Verbaarschot, E., E. Remke, S, de Kort & J. Roelofs (2011) Bodemverzuring lijkt een sleutelrol te spelen in het verstoorde verjongingsproces van jeneverbes (*Juniperus communis*). *De Levende Natuur* 112 (6): 235-239.
- Lucassen, E., Van den Berg, L., Aben, R., Smolders, A., Roelofs, R. & R. Bobbink (2014) Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. Landschap 4: 185-193.
- Lucassen, E., E. Brouwer, J. Roelofs & F. Smolders (2015) Bekalkingsproeven in de Hatertse vennen. B-WARE rapport 2016.27. In opdracht van Smeding Advies.
- Mullekom, M. van, A. Smolders, E. Brouwer & J. Roelofs (2007) Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse Veen. Rapport B-WARE Research Centre, Nijmegen.
- Mullekom, M. van, F. Smolders, E. Brouwer, W. Geraedts & J. Roelofs (2009) Herstel van schraalgraslanden in het Hierdense beekdal. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 6: 2-7.
- Mullekom, M. van & F. Smolders (2012) Bodemchemisch onderzoek Gooiermars. Onderzoek naar de natuurontwikkelingsmogelijkheden op voormalige landbouwgronden. Rapport 2012.34, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Weijters, H.B.M. Tomassen, R. Bobbink, A.J.P. Smolders (2013) Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* 114: 120-126.

- Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Department of Agriculture circular No. 939*.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* 110: 33-38.
- Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 1: 12-15.
- Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2016) Phytoextraction of soil phosphorus by potassium-fertilized grass-clover swards. *Journal of Environmental Quality* 45: 701-708.
- Tsiafouli, M.A., E. Thébault, S.P. Sgardelis, P.C. de Ruiter, W.H. van der Putten, K. Birkhofer, L. Hemerik, F.T. de Vries, R.D. Bardgett, M.V. Brady, L. Bjornlund, H.B. Jørgensen, S. Christensen, T. D' Hertefeldt, S. Hotes, W.H.G. Hol, J. Frouz, M. Liiri, S.R. Mortimer, H. Setälä, J. Tzanopoulos, K. Uteseny, V. Pižl, J. Stary, V. Wolters & K. Hedlund (2015) Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* 21: 973-985.

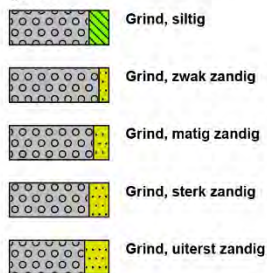
7. BIJLAGEN

Bijlage 1. Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties in Hagenbeek. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door het Veldwerkbureau (Jan Vermeer). Let op: de profielbeschrijving van locatie 6 staat achteraan.

Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

grind



klei



zandtest



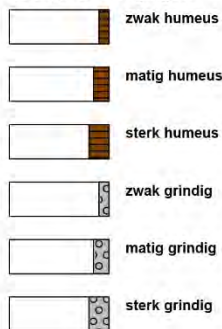
leem



veen



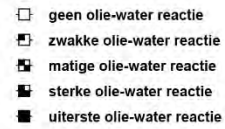
overige toevoegingen



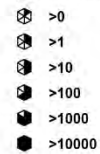
geur



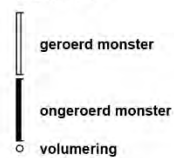
olie



p.i.d.-waarde



monsters



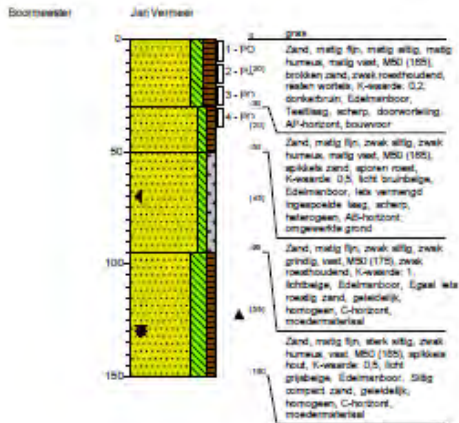
overig





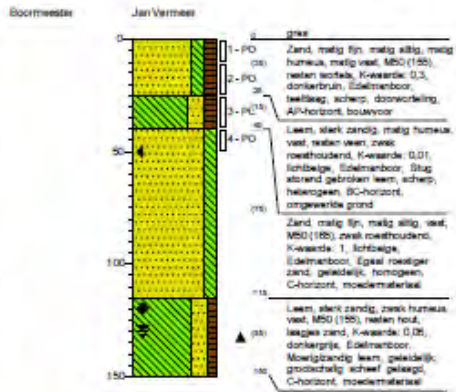
Boring: 01

X: 22910,00
Y: 49870,00
Datum: 1-7-2019
GWS: 130
GHZ: 70
GLZ: 130



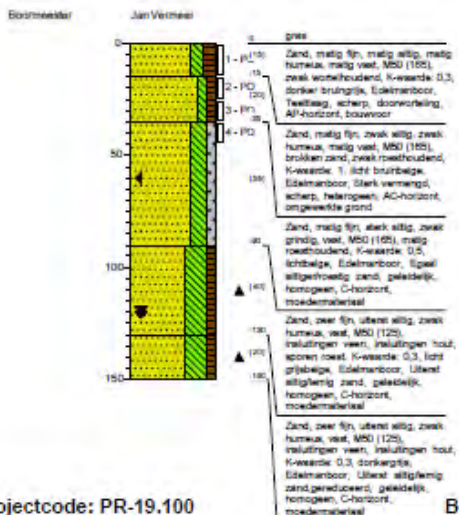
Boring: 02

X: 22917,00
Y: 49883,00
Datum: 1-7-2019
GWS: 130
GHZ: 90
GLZ: 120



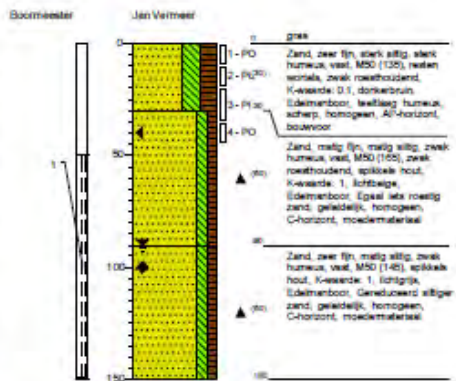
Boring: 03

X: 22920,00
Y: 49873,01
Datum: 1-7-2019
GWS: 120
GHZ: 80
GLZ: 120



Boring: 04/GW1

X: 22929,00
Y: 49873,00
Datum: 1-7-2019
GWS: 90
GHZ: 40
GLZ: 100



Projectcode: PR-19.100

Boormeester: Jan Vermeer

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek

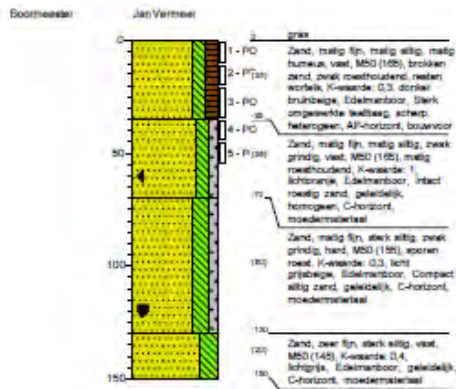
Projectleider: Hilde Tomassen

Getekend volgens NEN 5104

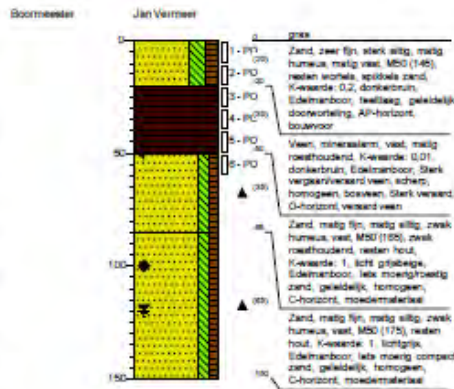




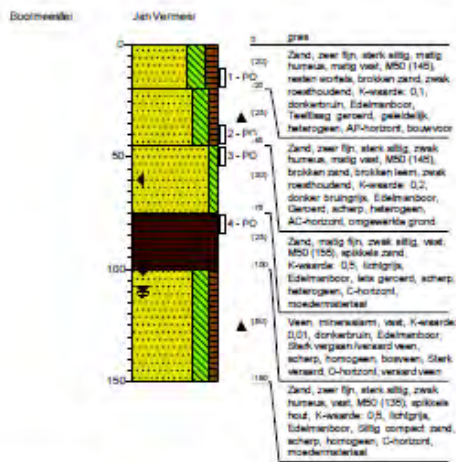
Boring: 05
 X: 226402,00
 Y: 488960,00
 Datum: 1-7-2019
 GMS: 120
 QHG: 90
 GLD: 120



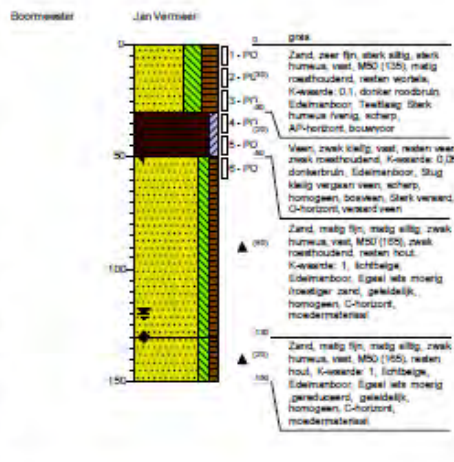
Boring: 07
 X: 226293,00
 Y: 488655,00
 Datum: 1-7-2019
 GMS: 120
 QHG: 90
 GLD: 100



Boring: 08
 X: 226286,00
 Y: 488702,00
 Datum: 1-7-2019
 GMS: 110
 QHG: 90
 GLD: 100



Boring: 09
 X: 226396,00
 Y: 488744,00
 Datum: 1-7-2019
 GMS: 120
 QHG: 90
 GLD: 130



Projectcode: PR-19.100

Boormeester: Jan Vermeer

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek

Projectleider: Hilde Tomassen

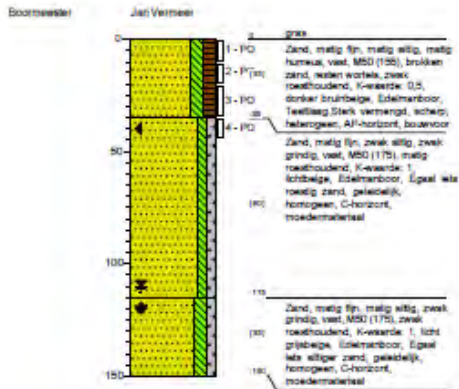
Getekend volgens NEN 5104





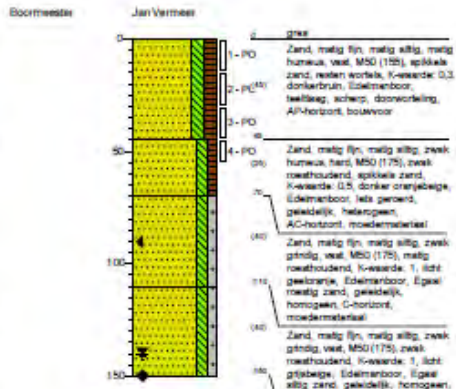
Boring: 10

X: 22845,00
 Y: 49870,00
 Datum: 1-7-2019
 GWS: 110
 QHG: 40
 GLG: 120



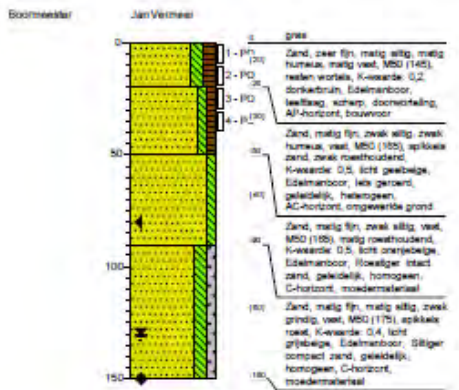
Boring: 11

X: 22848,00
 Y: 49883,00
 Datum: 1-7-2019
 GWS: 140
 QHG: 90
 GLG: 150



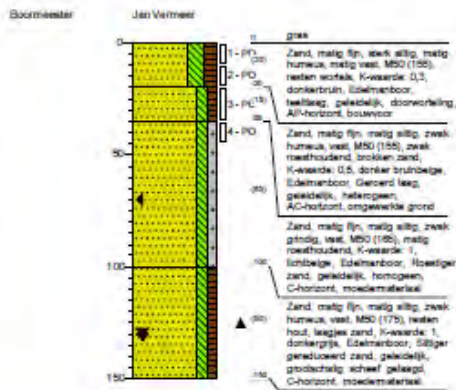
Boring: 12

X: 22845,00
 Y: 49870,00
 Datum: 1-7-2019
 GWS: 130
 QHG: 80
 GLG: 150



Boring: 13

X: 22845,00
 Y: 49870,00
 Datum: 1-7-2019
 GWS: 130
 QHG: 70
 GLG: 130



Projectcode: PR-19,100

Boormeester: Jan Vermeer

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek

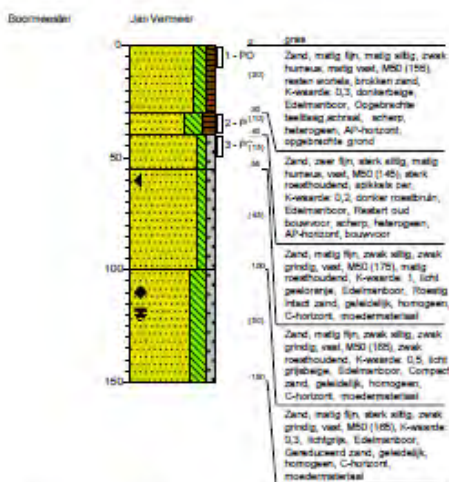
Projectleider: Hilde Tomassen

Getekend volgens NEN 5104

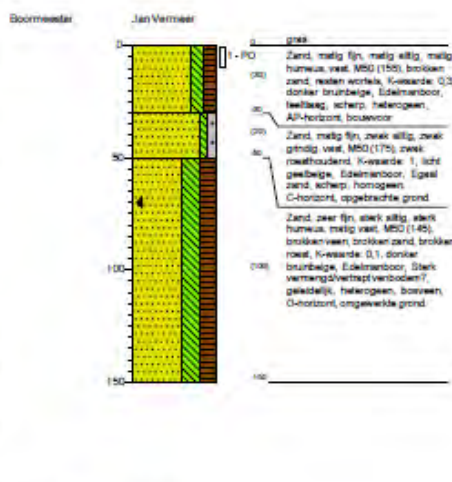




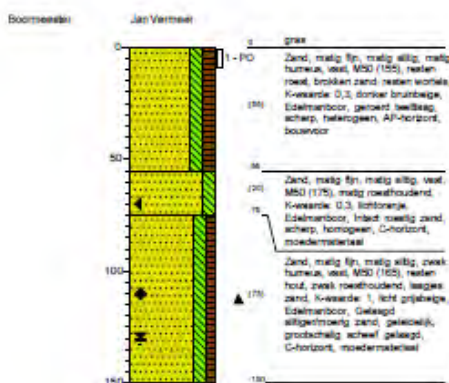
Boring: 14
 X: 22627,00
 Y: 45043,00
 Datum: 2-7-2019
 QWS: 120
 QHG: 60
 QLG: 110



Boring: 15
 X: 22662,00
 Y: 45043,00
 Datum: 1-7-2019
 QHG: 70



Boring: 16
 X: 22620,00
 Y: 45018,00
 Datum: 1-7-2019
 QWS: 130
 QHG: 70
 QLG: 110



Boring: OW 1
 X: 22631,88
 Y: 456719,58
 Datum: 2-7-2019



Projectcode: PR-19.100

Boormeester: Jan Vermeer

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek

Projectleider: Hilde Tomassen

Deelkennivolgans NEN5104

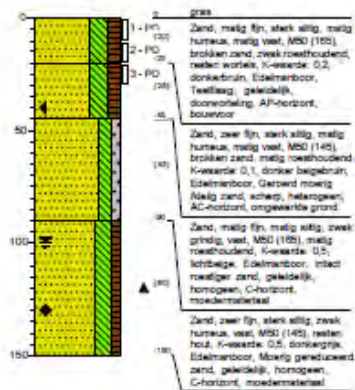




Boring: 06

X: 226240,00
 Y: 468564,00
 Datum: 1-7-2019
 GWS: 120
 GHC: 40
 GLC: 150

Boormeester: Jan Vermeer



Projectcode: PR-19.100

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek

Boormeester: Jan Vermeer

Projectleider: Hilde Tomassen

Getekend volgens NEN 5104



.....
Bijlage 2. Foto's van de percelen en boorprofielen. Foto's gemaakt door Jan Vermeer van het Veldwerkbureau.

Locatie 1



Locatie 2



Locatie 3



Locatie 5



Locatie 7



Locatie 9



Locatie 10



Locatie 11



Locatie 12



Locatie 13



Locatie 14



Locatie 15



Locatie 16



Locatie OW1



.....

B

ware

www.b-ware.eu