

BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK BEEKDAL KONINGSDIEP



- Definitief rapport -

Opdrachtgever: Provincie Fryslân • Auteurs: , , 

 &  • Projectnummer: PR-20.100 • Rapportnummer: RP-20.079.20.98 •

Datum: 03-03-2021

BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

BEEKDAL KONINGSDIEP

Definitief rapport



Titel rapport:

Bodem- en hydrochemisch onderzoek Beekdal Koningsdiep, definitief rapport

Auteurs:

[redacted], [redacted], [redacted] & [redacted]

Rapportnummer: RP-20.079.20.98

Opdrachtgever:

Provincie Fryslân

provinsje fryslân
provincie fryslân 

Informatie:

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

Contactpersoon:

[redacted]

Tel: [redacted]

[redacted]@b-ware.eu

www.b-ware.eu

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Aanpak bodem- en hydrochemisch onderzoek	8
1.3 Leeswijzer	9
2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond	11
2.1 Belang fosfaatlimitatie	11
2.2 Fosfaatbeschikbaarheid	11
2.3 Verschralingsmaatregelen	12
2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen	14
3. Materiaal en methoden	15
3.1 Veldwerkzaamheden bodem- en hydrochemisch onderzoek	15
3.2 Naleveringsexperiment	23
3.3 Chemische analyse	23
4. Referentielocaties	27
5. Resultaten bodem- en hydrochemisch onderzoek	31
5.1 Inleiding	31
5.2 Bodemtype	31
5.3 Grondwaterstanden en waterkwaliteit	35
5.4 Algemene bodemchemie	43
5.5 Kansen voor natuurontwikkeling	50
5.6 Aanvullende maatregelen	81
6. Risico's van vernatting	85
6.1 Risico's op verzuuring van de vegetatie	85
6.2 Risico's op fosfaalnalevering bij inundatie	86
7. Conclusies en aanbevelingen	93
7.1 Belangrijkste conclusies	93
7.2 Aanbevelingen	97
7.3 Aanvullende metingen	98
8. Literatuur	101
9. Bijlagen	103
9.1 Bijlage 1 - Profielbeschrijvingen bodem	103

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Onderzoekcentrum B-WARE is door Provincie Fryslân gevraagd om een bodemonderzoek uit te voeren om de natuurpotenties en geschikte inrichtingsmaatregelen in kaart te brengen voor een aantal (voormalige) landbouwgronden in het Koningsdiep, ten zuidoosten van Drachten (Figuur 1). Het Koningsdiep staat ook bekend als de Boarn (de Boorne) of Alddijp (Ouddiep) en is een riviertje dat stroomt tussen Bakkeveen en Irnsum.

In 2004 is er een gebiedsvisie opgesteld voor het gebied rondom het Koningsdiep. Hiervoor is het Raamplan Landinrichting Koningsdiep in 2007 opgesteld met als twee grootste opgaven de realisatie van 500 hectare natuur voor Natuurnetwerk Nederland en het beekdalherstel van het Koningsdiep.

Om dit te bewerkstellen worden landbouwgronden omgevormd naar natuur. Veel van deze gronden hebben een verleden van (intensief) agrarisch gebruik en bemesting. Dit kan de ontwikkelingsmogelijkheden van verschillende vegetatietypen belemmeren. Om beter zicht te krijgen in de potenties ervan wordt onderzoek uitgevoerd naar de bodemchemie in de huidige situatie en risico's na verhoging van de waterstanden. Daarnaast wordt de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit eenmalig gemeten. De percelen zijn in eigendom van It Fryske Gea, Provincie Fryslân, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en enkele particulieren.



Figuur 1. Overzicht van de globale ligging van het projectgebied.

Het onderzoek is gericht op de voor eutrofie meest gevoelige doeltypen, te weten nat schraalland (N10.01; Figuur 2), vochtig hooiland (N10.02; Figuur 2) en droog schraalland (N11.01).

Deze natuurbeheertypen verwacht men te ontwikkelen in de volgende zones van het onderzoeksgebied:

- Vochtig hooiland (dotterbloemhooiland): veelal de veengronden dicht bij de beek die onder invloed staan van kwel en/of inundaties met kwelrijk water. Er zijn voedselarme tot matig voedselrijke condities vereist. Afgraven is hier niet gewenst omdat dit een te grootschalige ingreep vraagt. De uitmijnkansen zijn onzeker;
- Nat schraalland: op de overgang van de zand- naar de veengronden waar sprake is van kwelinvloed. Een flexibel peilbeheer (droogval van de toplaag in de zomer) is van belang bij het immobiliseren van fosfaat (zo ook in vochtige hooilanden). Onderzoek moet uitwijzen of het afgraven van de voedselrijke toplaag, het verwijderen van de zode of uitmijnen kansen biedt voor de beoogde ontwikkeling;
- Droog schraalland: de inziggebieden hoger op de flanken waar sprake kan zijn van fosfaatuitspoeling. Beoogde herstelmaatregelen zijn verschrallen door middel van maaien en afvoeren of eventueel het afplaggen van de zode in combinatie met het opbrengen van maaisel uit referentiegebieden. Een alternatief (lager ambitieniveau, voedselrijkere bodems) is de ontwikkeling van kruiden- en faunarijke grasland.

De ontwikkeling van nat schraalland heeft de prioriteit. Voor deze locaties wil de opdrachtgever een maatregel als afplaggen wellicht wel toepassen; dat is (nagenoeg) niet aan de orde bij de andere twee genoemde natuurbeheertypen. Toch wil de opdrachtgever voor de andere beheertypen nog wel een indicatie hebben van de ontwikkelingskansen.

Het bodem- en hydrochemisch onderzoek is nodig om de kansen en knelpunten vast te kunnen stellen voor de ontwikkeling van de beoogde natuurtypen (in combinatie met de vernatting).

1.2 Aanpak bodem- en hydrochemisch onderzoek

De fosfaatrijkdom, mate van buffering en ijzerconcentraties van de bodem zijn bepaald aan de hand van een bodemchemisch onderzoek. Op 61 locaties in het onderzoeksgebied zijn daarvoor op verschillende diepten bodemonsters verzameld, een selectie van deze bodems is tevens gebruikt in een vernattingsexperiment. Op 10 goed ontwikkelde locaties zijn referentiemonsters van de toplaag genomen. Voor het hydrochemisch onderzoek zijn 7 oppervlakte- en 7 grondwatermonsters verzameld.

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt aangegeven op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor soortenrijke natuurtypen gerealiseerd kan worden en welke verschrallingsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.

Concreet worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat zijn de bodemchemische condities op de 61 geanalyseerde boorlocaties?
2. Wat zijn de bodemchemische condities op de 10 geanalyseerde referentielocaties?
3. Wat zijn de P-concentraties in de toplaag van de (voormalige) landbouwgronden en wat is de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur (hoog ambitieniveau) of bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijke grasland (lager ambitieniveau)?
4. Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor, wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur?

5. Zijn er mogelijkheden om natuur te ontwikkelen door middel van een beperkte ontgroning in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer?
6. Wat is de grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit en biedt deze kansen of vormt dit een bedreiging voor de gewenste natuurontwikkeling?
7. Wat is het risico op fosfaatmobilisatie (en verzuuring) bij vernatting van de voormalige landbouwgronden en wat zijn mogelijke oplossingen om de risico's te beperken?
8. Welke natuurpotenties zijn er op basis van de abiotische condities, grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit?
9. Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen?

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

1.3 Leeswijzer

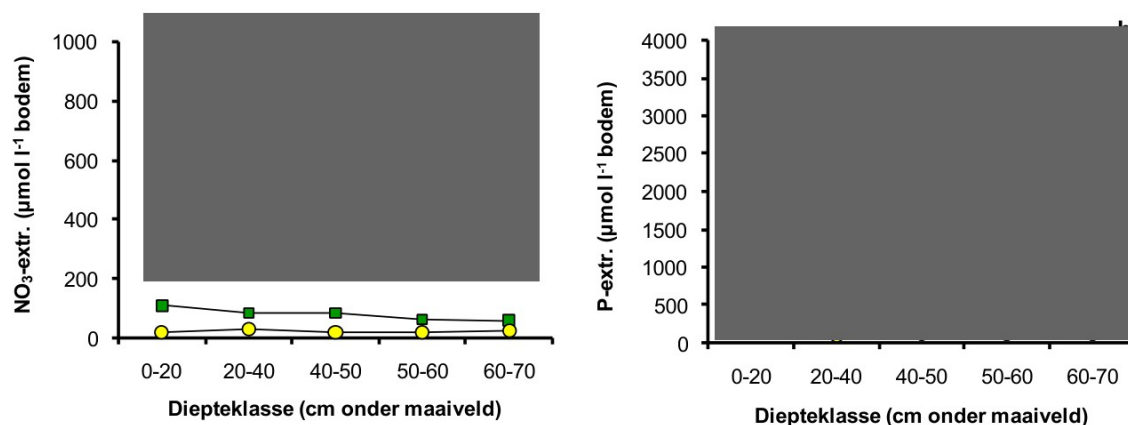
In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de problemen bij en kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden en in hoofdstuk 3 worden de toegepaste onderzoeksmethoden beschreven. In hoofdstuk 4 worden de onderzochte referentielocaties besproken. De resultaten van het bodemchemisch en hydrochemisch onderzoek worden in hoofdstuk 5 beschreven inclusief de kansen voor de natuurontwikkeling plus de mogelijke (inrichtings)maatregelen die daarvoor nodig zijn. Het naleveringsexperiment en de risico's bij vernatting worden besproken in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen beschreven. Hoofdstuk 8 bevat een overzicht van de gebruikte literatuur en hoofdstuk 9 de bijlagen.

2. NATUURONTWIKKELING OP VOORMALIGE LANDBOUWGROND

2.1 Belang fosfaatlimitatie

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

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



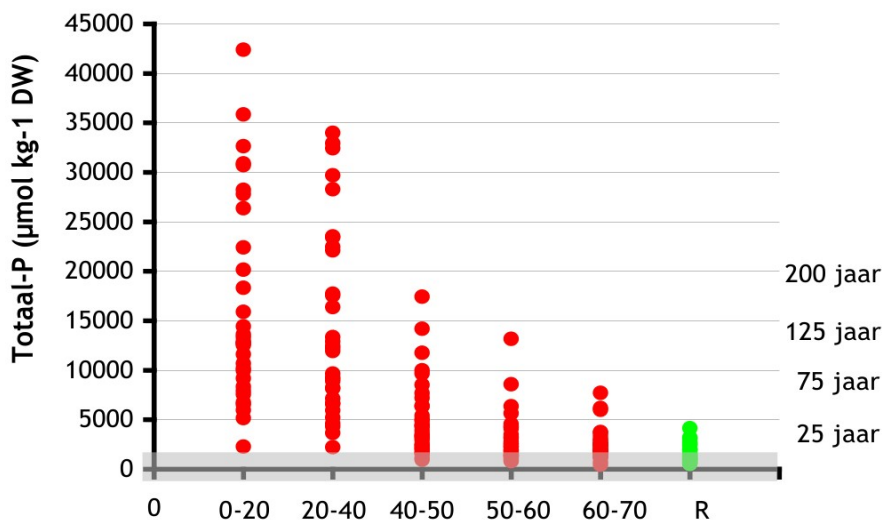
Figuur 2. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de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

2.2 Fosfaatbeschikbaarheid

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

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

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



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

2.3 Verschrallingsmaatregelen

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

Extensieve begrazing

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

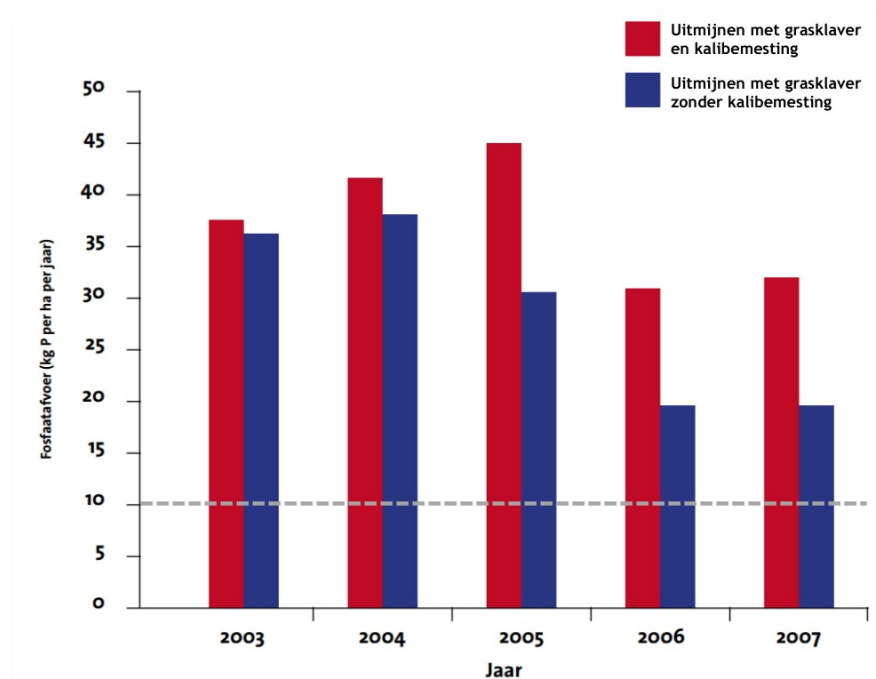
Intensief beheer met maaien en afvoeren

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

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

Uitmijnen

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



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

Ontgronden

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

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

2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen

Na het verwijderen van de P-verrijkte toplaag is het vaak nodig om nog een aantal jaren aanvullend verschrallingbeheer te plegen door middel van maaien en afvoeren. Begrazen houdt het terrein wel open maar leidt nauwelijks of niet tot een verdere verschralling van het terrein. Nadat een P-gelimiteerde uitgangssituatie is gecreëerd is er vaak nog geen sprake van de gewenste vegetatieontwikkeling. Vooral 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 inzijs 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 bodem- en hydrochemisch onderzoek

Op 3-6 augustus 2020 werden op 61 locaties ondiepe boringen (tot 150 cm onder maaiveld) gezet. De locaties werden door de opdrachtgever geselecteerd op basis van de actuele en historische perceelverdeling, hoogteverschillen in het landschap en variatie in het bodemtype. 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 [REDACTED] van ATKB (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel ook de GHG en GLG (Tabel 1).

Op 6 augustus werden, door Onderzoekcentrum B-WARE, referentiemonsters verzameld op 10 locaties en werd de bodemopbouw algemeen beschreven op deze locaties. Op 7 locaties werd tevens het freatisch grondwater verzameld uit het boorgat (met behulp van een tijdelijke peilbuis). Daarnaast werd op 7 locaties oppervlaktewater verzameld in het Koningsdiep.

Tabel 1. Overzicht van de monsterdatum, coördinaten (indicatief voor oppervlaktewatermonsters) type monster, landgebruik (GS = grasland; BR = braak/natuur), actuele grondwaterstand (GWS; 3-6 augustus 2020), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) per locatie. Voor de ligging van de locaties zie Figuur 5 t/m Figuur 9.

Locatie	Datum	Type	X	Y	Gebruik	GWS	GHG	GLG
1	3-8-2020	Bodem	214204	567874	GS	95	70	130
2	3-8-2020	Bodem	214223	567820	GS	95	70	120
3	3-8-2020	Bodem	214247	567757	GS	100	70	120
4	3-8-2020	Bodem	213759	567569	GS	130	80	150
5	3-8-2020	Bodem	213731	567654	GS	135	70	130
6	3-8-2020	Bodem en grondwater	213701	567757	GS	100	40	120
7	3-8-2020	Bodem	213382	567625	GS	100	70	130
8	3-8-2020	Bodem	213432	567511	GS	110	70	140
9	3-8-2020	Bodem	213492	567391	GS	130	90	>150
10	3-8-2020	Bodem (3L)	213150	567488	GS	130	100	150
11	5-8-2020	Bodem	213221	567391	GS	110	70	130
12	5-8-2020	Bodem (3L)	213270	567326	GS	140	100	>150
13	5-8-2020	Bodem	213313	567255	GS	>150	>150	>150
14	5-8-2020	Bodem	212864	567300	GS	110	80	>150
15	5-8-2020	Bodem	212914	567221	GS	110	70	140
16	5-8-2020	Bodem	212959	567149	GS	120	90	150
17	5-8-2020	Bodem	213008	567074	GS	120	90	150
18	4-8-2020	Bodem (3L) en grondwater	212430	567311	GS	80	30	90
19	5-8-2020	Bodem (3L)	212328	567132	GS	>150	>150	>150
20	5-8-2020	Bodem	212256	567237	GS	140	110	>150
21	5-8-2020	Bodem	212194	567317	GS	70	55	90
22	5-8-2020	Bodem	212087	567285	GS	110	90	150
23	4-8-2020	Bodem (3L) en grondwater	210927	566346	GS	100	70	130
24	4-8-2020	Bodem	210954	566304	GS	120	90	140
25	4-8-2020	Bodem	211171	566471	GS	95	70	130
26	4-8-2020	Bodem	211197	566427	GS	100	70	130
27	4-8-2020	Bodem (3L)	210474	566137	GS	70	40	90
28	4-8-2020	Bodem	210656	566106	GS	90	60	120
29	4-8-2020	Bodem (3L)	210532	566000	GS	70	30	100

Locatie	Datum	Type	X	Y	Gebruik	GWS	GHG	GLG
30	6-8-2020	Referentie	216769	566194		-	-	-
31	4-8-2020	Bodem	210167	565678	GS	100	55	130
32	6-8-2020	Referentie	209907	565549		-	-	-
33	4-8-2020	Bodem	209570	565390	BR	70	20	90
34	4-8-2020	Bodem (3L)	209636	565333	BR	70	20	90
35	4-8-2020	Bodem (3L)	208933	564881	GS	70	30	100
36	4-8-2020	Bodem en grondwater	208888	564922	GS	70	20	120
37	4-8-2020	Bodem (3L)	208729	565008	GS	90	60	120
38	4-8-2020	Bodem	208709	565069	GS	95	60	130
39	4-8-2020	Bodem	209497	565304	GS	80	40	100
40	4-8-2020	Bodem	208510	564855	GS	60	20	80
41	4-8-2020	Bodem	207944	564707	GS	70	30	90
42	6-8-2020	Bodem	206126	564543	GS	60	40	80
43	6-8-2020	Bodem (3L)	206170	564452	GS	70	30	90
44	6-8-2020	Bodem	206019	564495	GS	80	40	100
45	6-8-2020	Bodem	206056	564392	GS	100	70	130
46	6-8-2020	Bodem en grondwater	206277	564320	GS	75	50	100
47	6-8-2020	Bodem (3L)	206336	564250	GS	70	30	110
48	6-8-2020	Bodem	206397	564181	GS	100	40	140
49	6-8-2020	Bodem (3L)	206648	564546	GS	40	10	70
50	5-8-2020	Bodem	206774	564611	GS	80	30	90
51	5-8-2020	Bodem	206885	564472	GS	110	50	140
52	5-8-2020	Bodem	206981	564372	GS	85	50	100
53	5-8-2020	Bodem en grondwater	206933	564648	GS	70	30	80
54	4-8-2020	Bodem (3L)	207115	564736	GS	80	30	100
55	4-8-2020	Bodem	207190	564648	GS	70	20	80
56	5-8-2020	Bodem	207117	564406	GS	110	80	110
57	5-8-2020	Bodem (3L)	207082	564519	GS	110	-	-
58	6-8-2020	Bodem	206797	564423	GS	70	30	110
59	6-8-2020	Bodem	206777	564365	GS	50	10	80
60	6-8-2020	Bodem	206833	564362	GS	75	30	80
61	6-8-2020	Bodem	206838	564294	GS	70	20	85
62	6-8-2020	Referentie	206666	563604				
63	6-8-2020	Referentie	206603	563727				
64	6-8-2020	Referentie	206630	563671				
65	6-8-2020	Referentie	206626	563822				
66	6-8-2020	Referentie	206865	563533				
67	6-8-2020	Referentie	206916	563469				
68	6-8-2020	Referentie	266990	563520				
69	6-8-2020	Referentie	206813	563497				
OW1	6-8-2020	Oppervlaktewater	213682	567799				
OW2	6-8-2020	Oppervlaktewater	212293	567563				
OW3	6-8-2020	Oppervlaktewater	210819	566391				
OW4	6-8-2020	Oppervlaktewater	209757	565545				
OW5	6-8-2020	Oppervlaktewater	208677	564930				
OW6	6-8-2020	Oppervlaktewater	206872	564726				
OW7	6-8-2020	Oppervlaktewater	206239	564361				

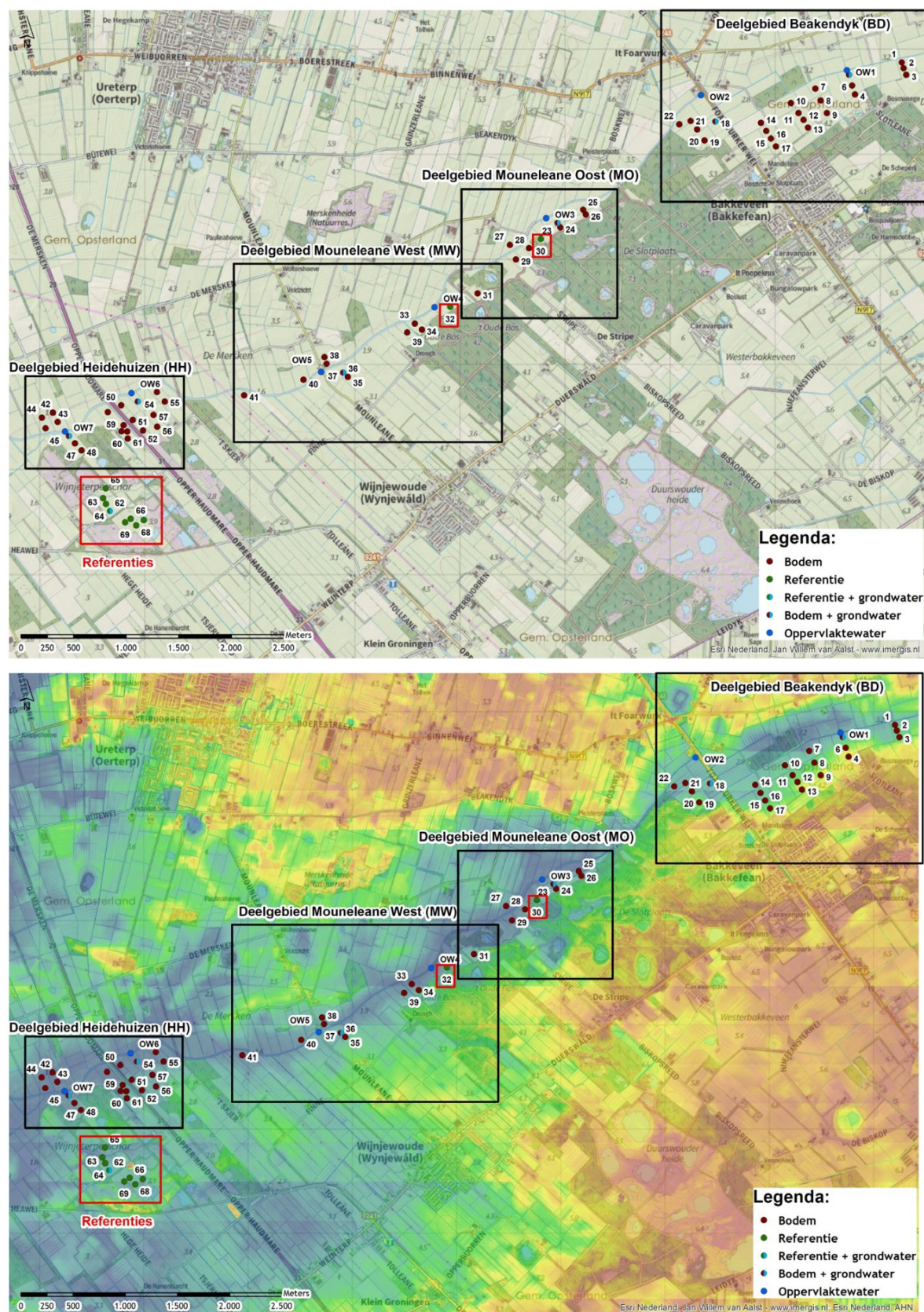
Op de bodemlocaties werden op 4 dieptes bodemonsters verzameld. De globale strategie was afhankelijk van de bouwvoordikte (Tabel 2). Per bodemonster werd circa 300 ml bodemmateriaal verzameld. Op 15 locaties (zie Tabel 1) werd per bodemonster 3 L verzameld voor de uitvoering van het naleveringsexperiment.

Tabel 2. Bemonsteringstrategie voor verschillende bouwvoordiktes (in cm). Monsterdieptes worden weergegeven in cm-mv.

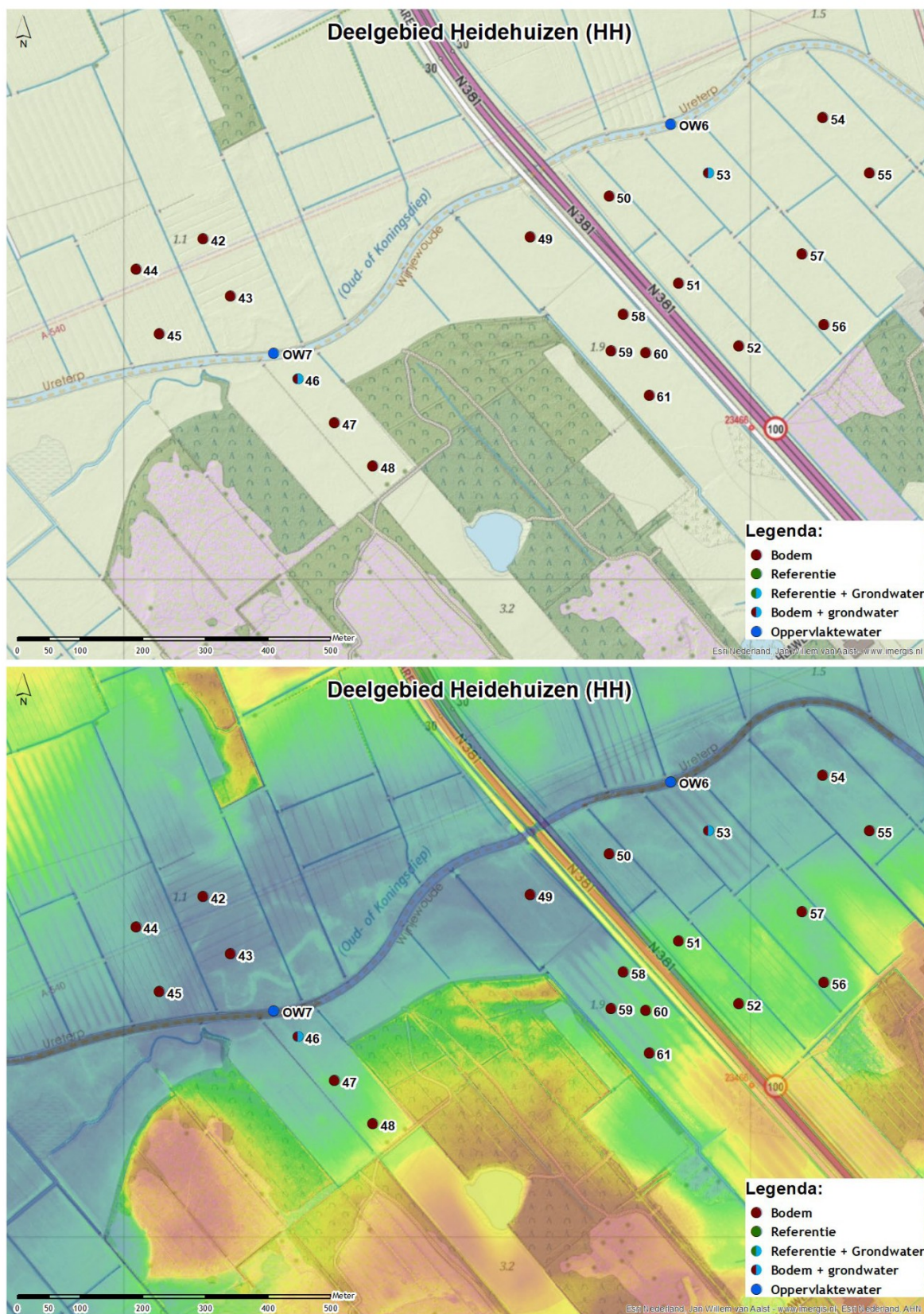
Dikte bouwvoor	Monster 1	Monster 2	Monster 3	Monster 4
20	0-20	20-30	30-40	40-50
25	0-15	15-25	25-35	35-45
30	0-15	15-30	30-40	40-50
35	0-20	20-35	35-45	45-55
40	0-20	20-40	40-50	50-60

Op de referentielocaties is op basis van de bodemopbouw bemonsterd. Er werden monsters van van de bovenste 10 tot 15 cm verzameld.

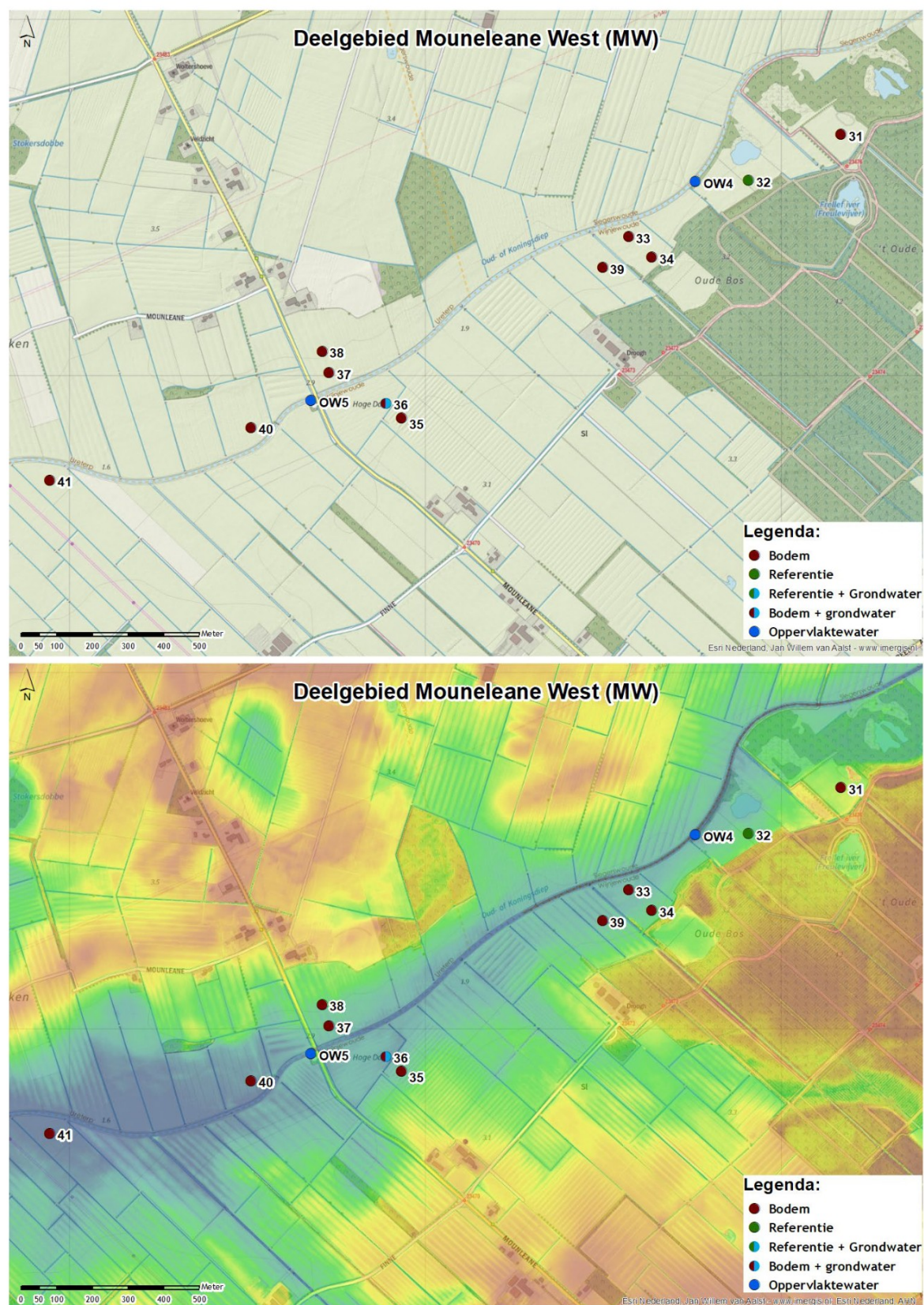
De bodem- en watermonsters werden vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. De focus tijdens het onderzoek ligt in eerste instantie op 1 á 2 dieptes (afhankelijk van de locatie) en lokaal 3 dieptes. Deze dieptes zijn aangegeven door de opdrachtgever. Mede doordat men niet of slechts zeer beperkt wil ontgraven. Dit is de reden dat slechts een selectie van de verzamelde monsters is geanalyseerd. De overige monsters zijn tijdelijk opgeslagen bij Onderzoekcentrum B-WARE voor het geval dat aanvullende analyses nodig zijn in een eventueel vervolgonderzoek. In totaal zijn 110 landbouw-bodemonsters, 19 referentie-bodemonsters en 14 watermonsters geanalyseerd. In paragraaf 3.3 worden de analysemethoden nader toegelicht.



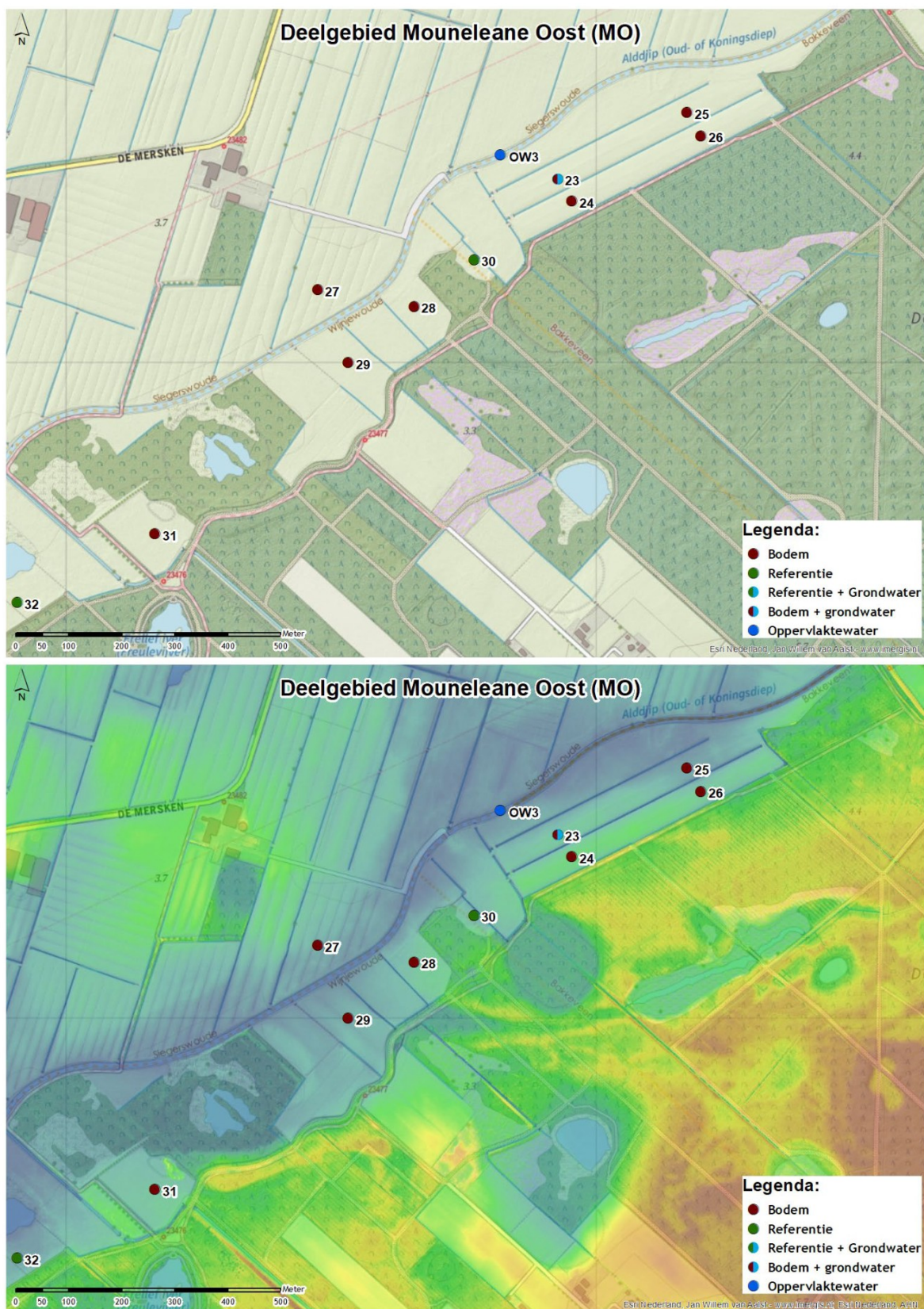
Figuur 5. Overzicht van de ligging van de bodem- en watermonsterlocaties in het onderzoeksgebied op een topografische (boven) en een hoogtekartaart (onder). Hierop worden tevens de verschillende deelgebieden weergegeven (zie detailkaarten in Figuur 6 t/m Figuur 9).



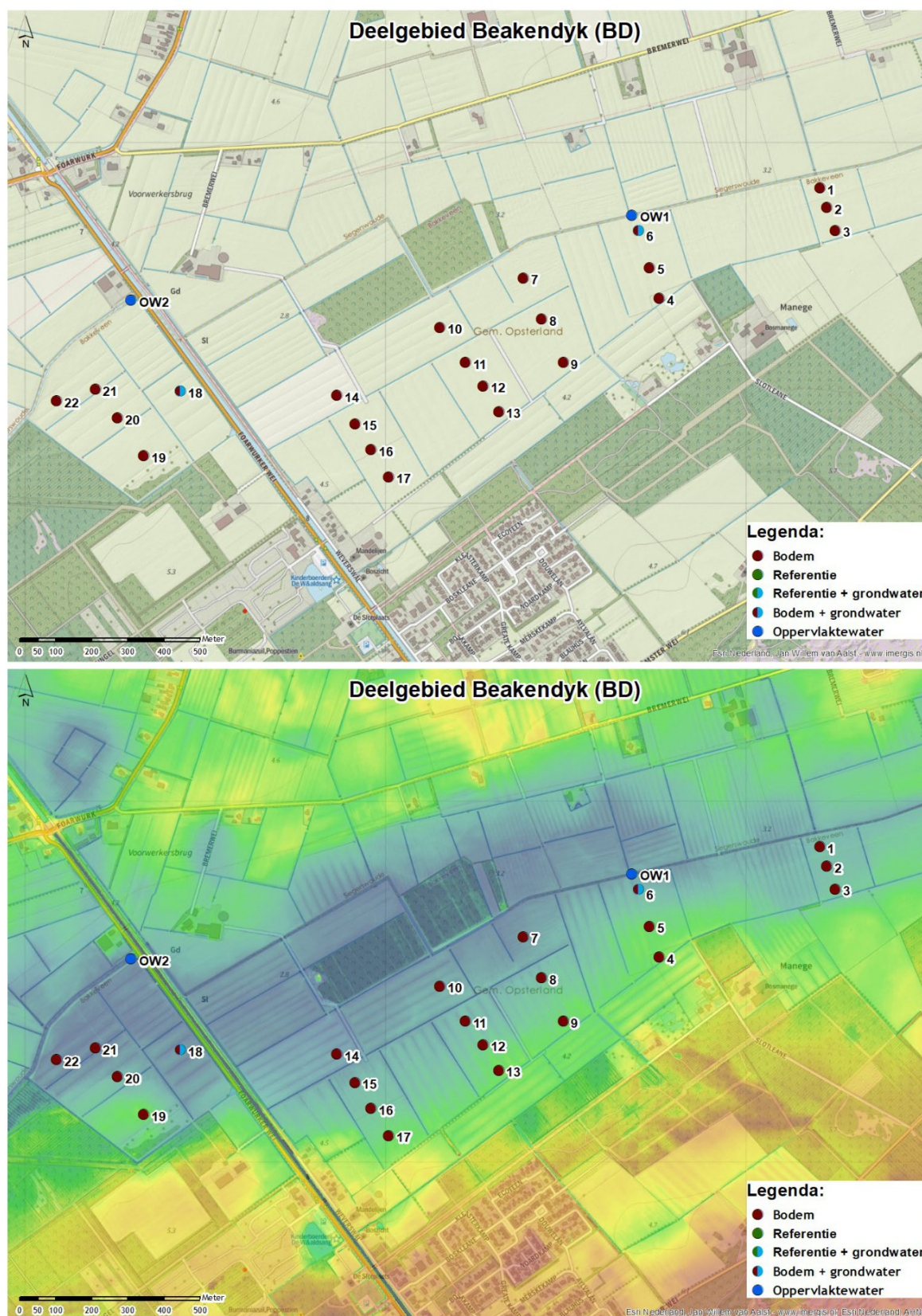
Figuur 6. Overzicht van de ligging van de bodem- en watermonsterlocaties in deelgebied Heidehuizen op een topografische (boven) en een hoogtekarte (onder).



Figuur 7. Overzicht van de ligging van de bodem- en watermonsterlocaties in deelgebied Mounleane West op een topografische (boven) en een hoogtekartaat (onder).



Figuur 8. Overzicht van de ligging van de bodem- en watermonsterlocaties in deelgebied Mouneleane Oost op een topografische (boven) en een hoogtekkaart (onder).



Figuur 9. Overzicht van de ligging van de bodem- en watermonsterlocaties in deelgebied Beakendyk op een topografische (boven) en een hoogtekkaart (onder).

3.2 Naleveringsexperiment

De 33 bodems, bedoeld voor het naleveringsexperiment, werden in het laboratorium per locatie en per diepte goed gemengd tot een homogeen monster. Per monster werd een submonster genomen voor uitgebreide bodemanalyse (paragraaf 3.3).

Voor het experiment werden 33 glazen kolommen (diameter 15,5 cm, hoogte circa 40 cm) gevuld met 10 cm bodemmateriaal. Vervolgens werd op de bodem voorzichtig demiwater gegoten tot 20 cm boven de bodem (circa 3,8 liter). De kolommen werden gedurende het gehele experiment geïncubeerd in een donkere klimaatcel bij 18 °C.



Figuur 10. Foto's van het naleveringsexperiment op de dag van het inzetten (links) en van de bemonstering na 10 weken (rechts). Foto's: 

In elke kolom werd één rhizon (5 cm) verticaal in de bodem geplaatst om het bodemvocht te bemonsteren. De rhizons werden bevestigd aan een stok om deze op de juiste plaats te houden in de kolom. 7 en 10 weken ($T=7$ en $T=10$) na het toevoegen van het water werden er vacuümgetrokken glazen flesjes (60 ml) aan de rhizons gehangen om het bodemvocht te bemonsteren. De dag erna werden de flesjes eraf gehaald en zijn de watermonsters geanalyseerd. Na 10 weken ($T=10$) is ook het oppervlaktewater bemonsterd en geanalyseerd. De mate van nalevering vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater is mede afhankelijk van de zuurstofconcentratie in het oppervlaktewater.

3.3 Chemische analyse

Voor de bodemmonsters zijn 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);
- pH-zout en zoutuitwisselbare concentraties van o.a. ammonium, nitraat en calcium;
- Oxalaatextractie ter bepaling van de P-ox concentratie en fosfaatverzadigingsgraad (FVG: bij een FVG > 25% is een bodem fosfaatverzadigd).

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 48 uur bij 60 °C. Omdat de bakjes precies tot aan de rand werden afgevuld (volume = 40 ml) konden later ook de concentraties worden omgerekend naar mol per liter bodemvolume. De fractie organisch stof in de bodem werd

berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsen-extractie

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

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijn gemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedgestrueerd 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.

.....
Oxalaatextractie

Met een oxalaatextractie wordt de concentratie ijzer- en aluminiumgebonden fosfaat bepaald. Dit is de adsorptiecapaciteit aan amorfe ijzer- en aluminiumhydroxiden. Op basis van de P-ox, Fe-ox en Al-ox wordt tevens de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) berekend. Hiervoor wordt vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 2,5 gram droog materiaal en met 50 ml extractiemedium ((COONH₄)₂.H₂O: 0,12 mol l⁻¹ en H₂C₂O₄: 0,12 mol l⁻¹) uitgeschud op een schudmachine bij 105 r.p.m. De extracten worden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat wordt niet-aangezuurd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES. Deze extractie werd uitgevoerd op een selectie van locaties. Als het deel van het bodemprofiel boven de GHG een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) > 25% heeft wordt de bodem als fosfaatverzadigd beoordeeld en bestaat kans op uitspoelen van fosfaat (Schoumans, 2004; Schoumans e.a., 2008). De fosfaatverzadigingsgraad wordt als volgt berekend:

$$\text{FVG} = \frac{\text{P-ox}}{0,5 \times (\text{Fe-ox} + \text{Al-ox})} \times 100\%$$

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 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 bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; ARCOS MV, Spectro). 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. REFERENTIELOCATIES

In dit hoofdstuk worden de referentielocaties besproken op basis van het bodemchemisch onderzoek en de algemene bodemopbouw.

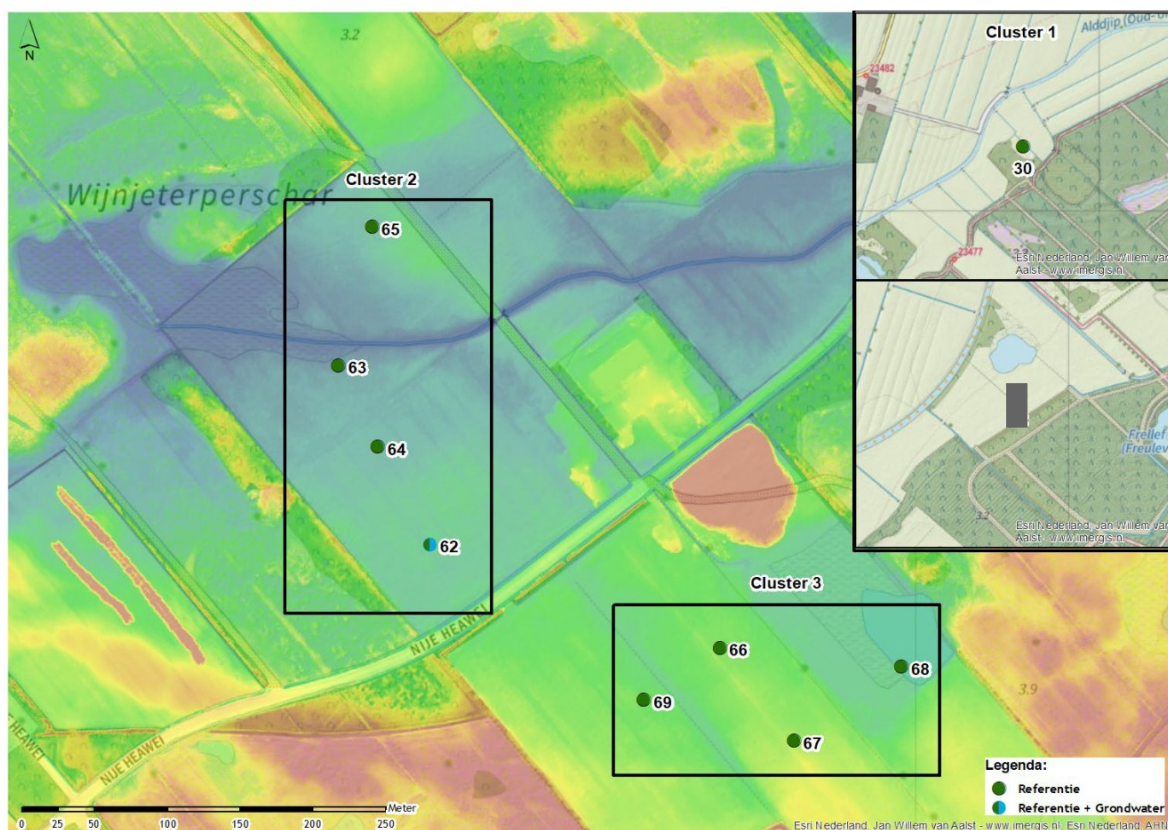
In het Koningsdiep werden 10 locaties bemonsterd om als een lokale referentie te dienen voor de interpretatie van de bodemchemische analyses van de te ontwikkelen locaties op de voormalige landbouwgronden. De referentielocaties zijn schrale, relatief goed ontwikkelde locaties (zie Figuur 11). Acht locaties zijn gelegen in het zuidwesten van het gebied, de overige twee locaties zijn gelegen in het midden van het gebied (zie Figuur 5 en Figuur 13).



Figuur 11. Impressie van de referentielocaties in Koningsdiep op de locaties 32 (links) en 67 (rechts). Foto's: Mark van Mullekom.



Figuur 12. Boorprofielen (0-50 cm-mv) van de referentielocaties in Koningsdiep. Foto's: Mark van Mullekom.



Figuur 13. Detailoverzicht van de ligging van de referentielocaties in het onderzoeksgebied op een hoogtekarte, locatie 30 en 32 zijn weergegeven op een topografische kaart. Zie Figuur 5 voor de ligging in het totale onderzoeksgebied.

De referenties kunnen worden onderverdeeld in 3 clusters:

- Cluster 1: locatie 30 en 32, gelegen in het midden van het gebied. Deze locaties zijn aangemerkt als optimaal ontwikkeld.
- Cluster 2: locatie 62, 63, 64 en 65, gelegen in het noordelijk en lager gelegen gedeelte van het referentiegebied. Deze locaties zijn nog in beheer/ontwikkeling.
- Cluster 3: locatie 66, 67, 68 en 69, gelegen in het zuidelijk en hoger gelegen gedeelte van het referentiegebied. De locaties 66, 67 en 69 zijn nog in beheer/ontwikkeling.

De locaties in cluster 1 hebben over het algemeen een dikkere venige/humeuze toplaag in vergelijking met cluster 2 en 3. Op alle locaties is onderin het boorprofiel gelig zand aangetroffen (zie Figuur 12). In onderstaande tabel worden de bodemchemische condities op de referentielocaties weergegeven. Uit deze gegevens blijkt dat deze clusters niet alleen op basis van ligging maar ook op basis van de bodemchemische data gevormd kunnen worden. De belangrijkste parameters hiervoor zijn de calcium- en ijzerconcentraties in de bodem.

Tabel 3. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de referentielocaties in Koningsdiep. OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem; Ols-P = Olsen-P (µmol/l); -t = totale concentratie (mmol/l), -z = zoutuitwisselbare concentraties (µmol/l), BV = indicatieve basenverzadiging, P-ox = oxalaatextraheerbaar fosfor in mg/kg, FVG = fosfaatverzadigingsgraad. M3/M5/M12 = berekende verschrallingsduur (jaren) via maaien en afvoeren tot een streefconcentratie van 300/500/1200 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 volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO3-z	FVG	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	µmol/l	µmol/l	%	jaren	
<5	<150	<10	<4000	<20	<1	<50	<10	0	voldoende P-arm
6-10	151-250	10-20	4001-10000	21-50	2-5	51-100	11-25	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	10001-15000	51-100	6-10	101-200	26-50	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	>50	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

Cluster	Nr	Diepte	Grondsoort	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	P-ox	FVG	M3	M5	M12
1	30-1	0-10	veraard veen	54	51	0,4	185	9,7	87	120	473	2	6	32	28	28357	98	1401	4,9	99	1	702	176	142	2	0	0	0
	32-1	0-10	lemig veraard veen	12	34	1,1	156	7,7	239	96	336	4	18	11	34	36554	97	4273	5,0	100	1	1	60	35	1	0	0	0
	32-2	10-25	lemig veen, ijzerrijk	11	36	1,1	299	33,0	194	93	2578	3	19	10	5	33946	73	4053	5,4	100	0	14	36	125	4	0	0	0
2	62-1	0-10	zwart zand, sterk humeus	7	17	0,9	636	6,6	80	12	36	3	6	5	243	6917	239	1464	4,9	94	1	1	85	132	12	11	4	0
	62-2	10-25	geel zand met ijzervlekken, licht verstoord	1	8	1,4	179	2,6	157	10	95	8	19	1	64	5680	308	2089	4,9	98	1	1	21	21	5	0	0	0
	63-1	0-10	zwartbruin veraard zandig veen	9	23	0,8	386	9,3	152	49	156	4	14	11	23	16272	93	2805	5,1	99	1	12	112	58	28	6	0	0
	63-2	10-20	geel zand met ijzervlekken	1	8	1,4	94	2,8	88	16	54	5	12	1	14	8306	140	1328	5,4	100	1	10	27	202	20	0	0	0
	64-1	0-15	zwart zand	4	13	1,2	625	7,9	117	22	199	4	12	5	196	11849	167	2832	4,7	97	0	5	55	121	10	19	7	0
	64-2	15-30	geel zand met ijzervlekken, sterk verstoord	1	8	1,4	273	4,4	133	24	99	8	25	1	27	14527	183	2816	5,1	100	1	3	36	34	10	0	0	0
	65-1	0-10	zwart zand	5	14	1,0	760	9,1	100	19	144	3	9	7	107	8748	285	2489	4,7	95	1	7	679	156	10	17	10	0
	65-2	10-20	geel zand met ijzervlekken	1	7	1,3	157	2,3	56	7	51	3	8	0	44	3732	231	1813	5,1	98	1	0	25	19	8	0	0	0
3	66-1	0-10	zwartbruin zand	4	10	1,0	757	7,1	103	10	31	4	9	5	156	6108	229	1189	4,9	95	2	7	82	136	16	13	8	0
	66-2	10-25	roodbruin zwart gevlekt zand, uitspoeling	4	10	1,1	347	3,8	122	15	38	5	13	5	50	7813	272	2495	5,2	98	1	4	166	58	7	2	0	0
	67-1	0-15	rood-zwartbruin zand	4	13	1,1	610	6,1	98	17	23	3	9	4	46	7827	121	2072	5,2	99	2	1	61	128	12	14	5	0
	67-2	15-30	geel humeus zand, licht gevlekt	1	13	1,5	184	2,6	206	13	43	9	26	2	22	6744	236	3011	5,7	99	1	6	29	44	7	0	0	0
	68-1	0-15	gelig zand met ijzervlekken en rietresten	1	16	1,7	31	1,0	107	7	27	4	9	1	99	4905	164	949	4,7	94	0	11	35	5	4	0	0	0
	68-2	15-25	gelig zand met ijzervlekken en rietresten	1	16	1,7	60	1,5	124	13	50	7	14	0	159	8145	644	1390	4,6	94	1	16	37	9	5	0	0	0
	69-1	0-10	zwartgrijs/geel zand met venige/humeuze resten	3	7	1,1	1349	9,1	108	7	29	4	11	3	165	4081	139					1	57	199	8	19	18	3
	69-2	10-20	geel zand met venige/humeuze resten	3	9	1,1	984	6,9	110	10	34	4	10	3	101	4598	114	706	5,0	95	2	36	77	201	27	12	11	0

De hoogste ijzer- en calciumconcentraties worden aangetroffen in cluster 1 (>300 mmol/l Fe-t; >90 mmol/l Ca-t; >28.000 µmol/l Ca-z). Op locatie 30 en 32 is in de toplaag (lemig) veraard veen aangetroffen (nitraatrijk op locatie 30 als gevolg van de mineralisatie van veen), onder de toplaag is geel zand aanwezig. De hoge calciumconcentraties in combinatie met de hoge ijzerconcentraties geven aan dat de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland en eventueel blauwgrasland op deze locaties verwacht kan worden onder de juiste hydrologische omstandigheden. De Olsen-P concentratie is voldoende laag (<300 µmol/l). Locaties 30, 32 en 68 zijn door de opdrachtgever benoemd als optimaal ontwikkeld. Mocht er toch op enkele plekken sprake zijn van een soortenarme zode dan kan het lokaal plaggen van de zode in combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentiegebied een geschikte maatregel zijn ter bevordering van de soortenrijkdom.

In cluster 2 (locatie 62-65) zijn lagere ijzer- en calciumconcentraties aangetroffen (36-199 mmol/l Fe-t; 7-49 mmol/l Ca-t; ± 3.700-16.300 µmol/l Ca-z) in vergelijking met cluster 1. De

.....

ijzerconcentraties en mate van buffering nemen af in de diepte. De hogere ijzerconcentraties in de toplaag zijn waarschijnlijk het gevolg van de relatief lage ligging in het gebied. Als gevolg van de invloed van ijzerrijk grondwater (in het verleden) heeft accumulatie van ijzer in de toplaag plaatsgevonden. De toplaag in cluster 2 bestaat voornamelijk uit zwart zand, soms ook benoemd als sterk humeus zand of sterk veraard veen. Onder de toplaag wordt op alle locaties geel zand met ijzervlekken aangetroffen. Locatie 62, 64 en 65 hebben licht verhoogde fosfaatconcentraties in de toplaag (Olsen-P: 625-760 $\mu\text{mol/l}$ en 6,6-9,1 mmol/l P-t) waardoor circa 5-15 jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist is. Op basis van de buffering van de bodem is een heischraalgrasland (Ca-z 4.000-10.000 $\mu\text{mol/l}$; locatie 62 en 65) of blauwgrasland (Ca-z > 10.000 $\mu\text{mol/l}$; locatie 63 en 64) te verwachten onder de juiste hydrologische en P-gelimiteerde condities. Door de licht verhoogde fosfaatconcentraties zal de aanwezige vegetatie minder soortenrijk zijn in vergelijking met optimaal ontwikkelde heischraalgraslanden. Op plekken waar de toplaag voldoende verschralld is maar nog steeds sprake is van een soortenarme zode kan het plaggen van de zode in combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentiegebied een geschikte maatregel zijn ter bevordering van de soortenrijkdom.

De laagste ijzer- en calciumconcentraties zijn aangetroffen in cluster 3 (<51 mmol/l Fe-t; <20 mmol/l Ca-t; <9.000 $\mu\text{mol/l}$ Ca-z). Dit cluster is hoger gelegen. De toplaag bestaat uit zwart-grijs of bruin zand. Onder de toplaag wordt voornamelijk geel zand aangetroffen met humeuze resten. Locaties 66 en 67 hebben licht verhoogde fosfaatconcentraties in de toplaag (Olsen-P: 610-757 $\mu\text{mol/l}$ en 6,1-7,1 mmol/l P-t) waardoor 10-15 jaar maaien en afvoeren vereist is. Op locatie 69 zijn echter nog hogere fosfaatconcentraties aangetroffen in de toplaag (Olsen-P: 1349 $\mu\text{mol/l}$ en 9,1 mmol/l P-t) waardoor circa 30 jaar maaien en afvoeren vereist is voor het creëren van P-gelimiteerde condities. De bodemchemische condities laten zien dat de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland te verwachten is, op locatie 66 en 67 zijn inderdaad enkele struikheides aangetroffen. Echter door de (licht) verhoogde fosfaatconcentraties (en de aanwezigheid van de dichte graszode) zal de vegetatie minder soortenrijk zijn in vergelijking met optimaal ontwikkelde heides of heischrale graslanden. De calciumconcentraties nemen licht toe onder de toplaag. De toplaag is mogelijk deels ontkalkt als gevolg van bemesting in het verleden. De meest voedselarme locatie betreft locatie 68, deze ligt in de rietkraag van de oever van de aanwezige plas. Locatie 69 daarentegen heeft momenteel meer het karakter van een kruiden- en faunarijkgasland (dit kan onder andere interessant zijn voor faunasoorten) en kan nog verder verschralld worden. Tijdens het veldbezoek zijn op deze locatie ook geen voor heide kenmerkende soorten aangetroffen. Op plekken waar de toplaag voldoende verschralld is maar nog steeds sprake is van een soortenarme zode kan het plaggen van de zode in combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentiegebied een geschikte maatregel zijn ter bevordering van de soortenrijkdom.

De labiel-P en nitraatconcentraties zijn over het algemeen zeer laag op de referentielocaties. Dit is positief en duidt erop dat er al lang geen bemesting meer plaatsvindt en een beheer van maaien en afvoeren wordt uitgevoerd. Lage concentraties aan snel beschikbare nutriënten bieden kansen voor een kruidenrijkere ontwikkeling. Een lage Olsen-P concentratie (<300-500 $\mu\text{mol/l}$) biedt kansen voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuurtypen. Hier komen we later op terug.

5. RESULTATEN BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

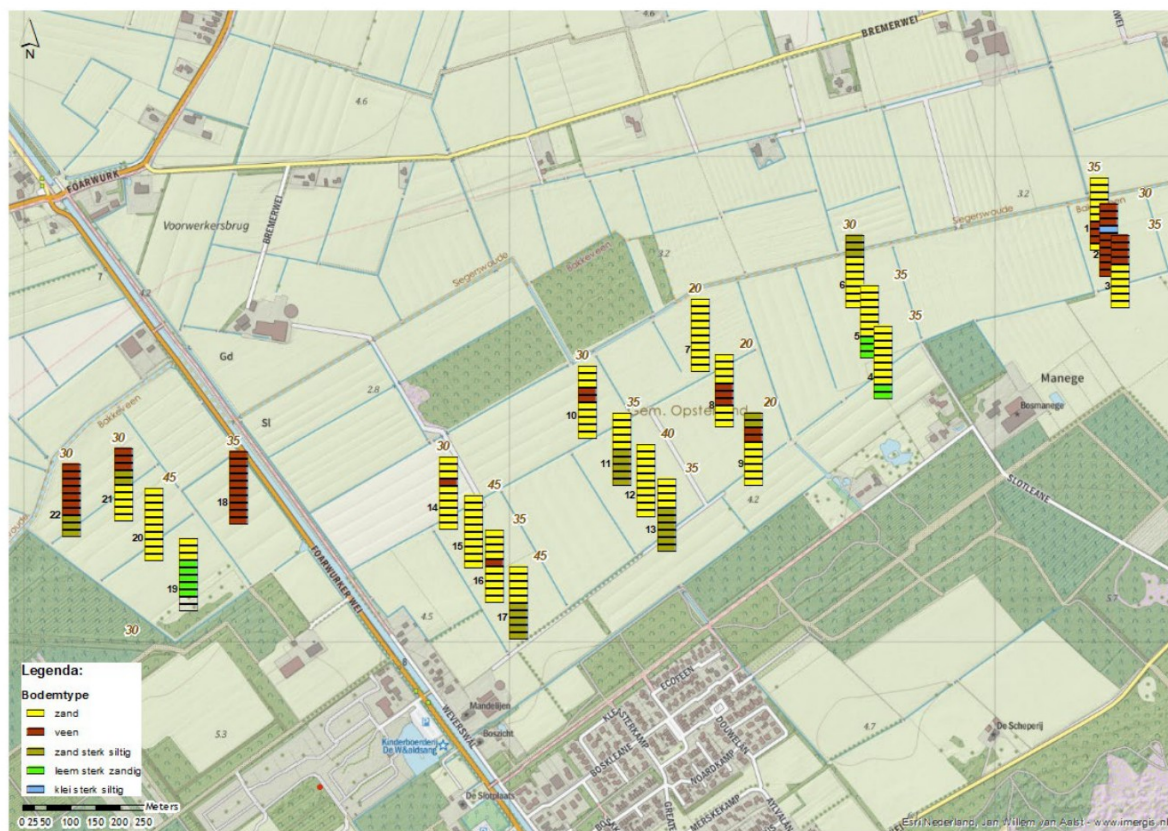
5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het bodem- en hydrochemisch onderzoek beschreven. In paragraaf 5.2 wordt het bodemtype besproken en in paragraaf 5.3 worden de resultaten van het hydrochemisch onderzoek gepresenteerd. In paragraaf 5.4 wordt de algemene bodemchemie toegelicht. In paragraaf 5.5 worden de kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur per locatie (geclusterd) besproken en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. Ten slotte worden in paragraaf 5.6 enkele algemene aandachtspunten bij natuurontwikkeling gegeven.

5.2 Bodemtype

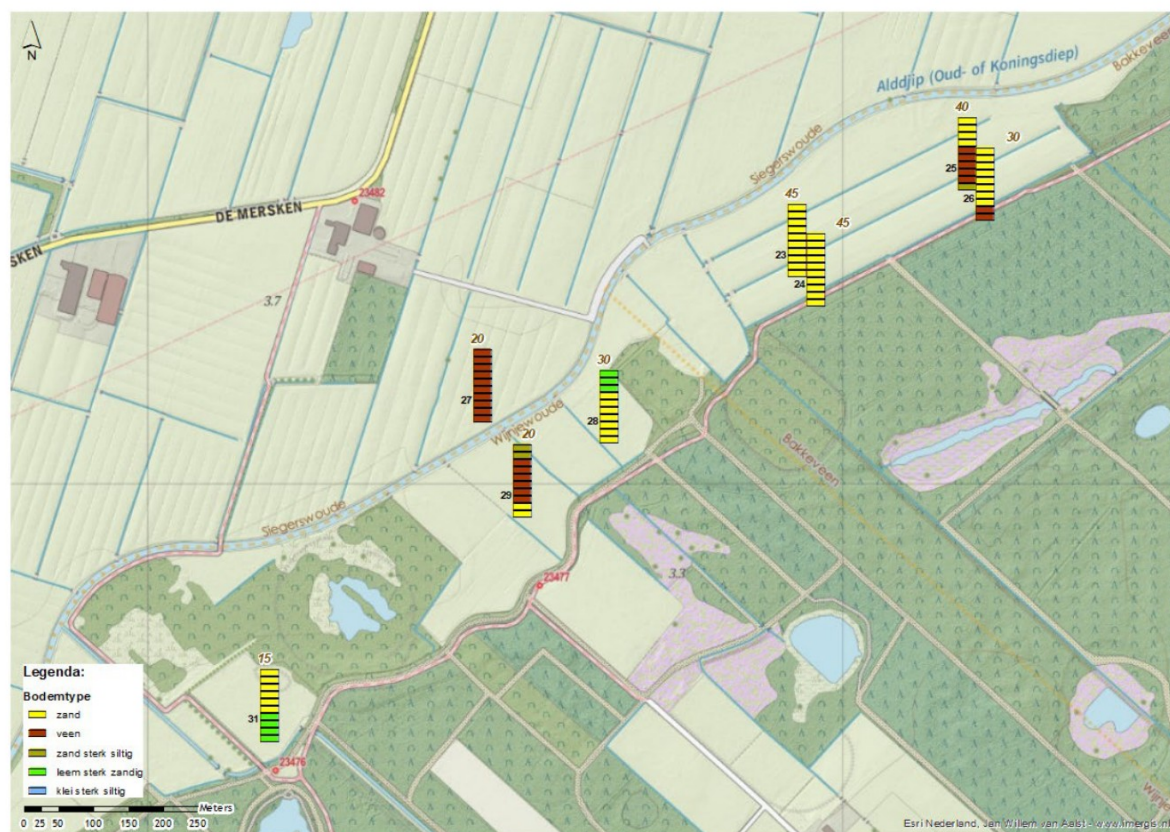
Het bodemtype in het Koningsdiep is zeer wisselend. Er zijn zand-, veen-, leem- en kleibodems aangetroffen op de verschillende locaties en op verschillende dieptes. Zie bijlage 1 voor de boorprofielen per locatie. De ruimtelijke variatie wordt per deelgebied inzichtelijk gemaakt in Figuur 14 t/m Figuur 17.

In deelgebied Beakendyk (locaties 1 t/m 22) bestaat de toplaag voornamelijk uit zand. Op 5 locaties bestaat de toplaag uit veen (locatie 2, 3, 18, 21 en 22). Vooral de locaties 2, 18 en 22 zijn sterk venig. De boorprofielen bestaan echter niet alleen uit zand of veen. Op veel locaties is dieper in de bodem sterk siltig zand of sterk zandige leem aanwezig. Lokaal zijn dunne veenlagen aangetroffen (zie Figuur 14). De bouwvoor in het gebied is 20 tot 45 cm dik.



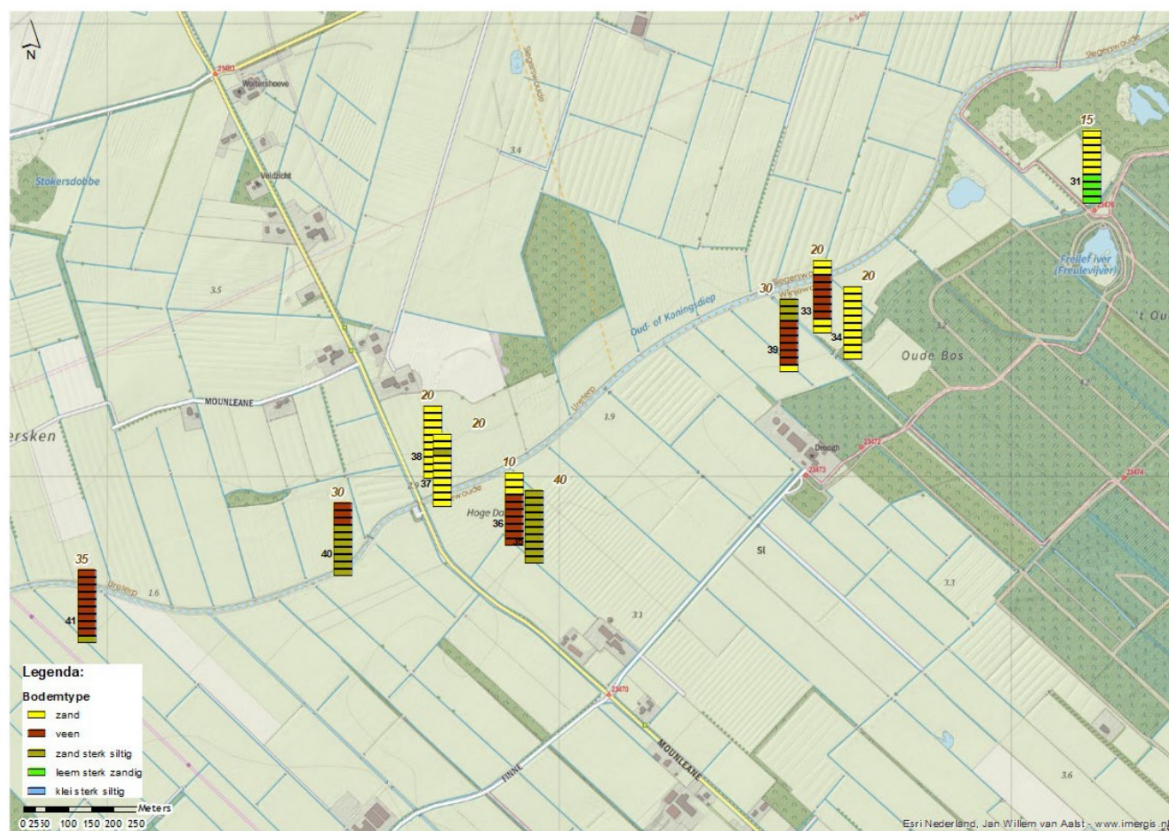
Figuur 14. Overzicht van de aangetroffen bodemtypen tot 100 cm-mv (per 10 cm) in de diepte per locatie in het deelgebied Beakendyk. Cursief bruin wordt de bouwvoordikte weergegeven.

In deelgebied Mouneleane Oost (locaties 23 t/m 31) zijn ook vooral veen- of zandbodems aanwezig. Zo is op locatie 23 en 24 alleen maar zand aangetroffen en op locatie 27 en 29 voornamelijk veen. Op locatie 25 en 26 is sprake van zand op veen en op locaties 28 en 31 zijn ook zandige leembodems aangetroffen (zie Figuur 15). De bouwvoor in het deelgebied is 15 tot 45 cm dik. In het oosten (locaties 23-26) worden vooral de dikke bouwvoren aangetroffen (30-45 cm). De dunnere bouwvoren zijn in het westen van het deelgebied te vinden (15 tot 20 cm).



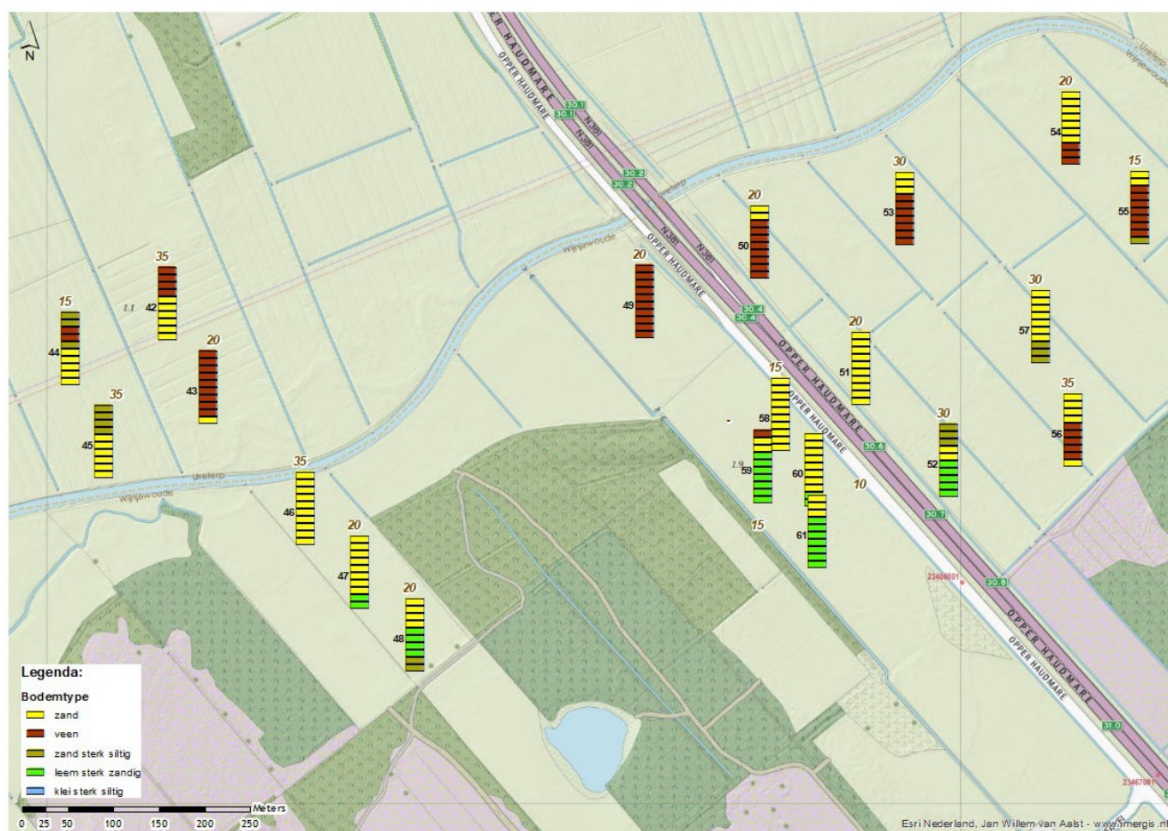
Figuur 15. Overzicht van de aangetroffen bodemtypen tot 100 cm-mv (per 10 cm) in de diepte per locatie in het deelgebied Mouneleane Oost. Cursief bruin wordt de bouwvoordikte weergegeven.

In deelgebied Mounleane West (locaties 31 t/m 41) is vooral veen en (lokaal sterk siltig) zand duidelijk aanwezig. Op locatie 41 is veen tot 90 cm-mv aangetroffen. Ook op de locaties 33, 36, 39 en 40 zijn veenrestanten aanwezig. De bouwvoor in het deelgebied varieert relatief sterk van 10 tot 45 cm dikte.



Figuur 16. Overzicht van de aangetroffen bodemtypen tot 100 cm-mv (per 10 cm) in de diepte per locatie in het deelgebied Mounleane West. Cursief bruin wordt de bouwvoordikte weergegeven.

Uit de boorprofielen van deelgebied Heidehuizen (locaties 42 t/m 61) is te zien dat de veenvorming voornamelijk in de lagere delen, dicht bij de beek heeft plaatsgevonden (zie hoogtekkaart Figuur 6). De locaties meer naar het zuiden betreffen vooral (lemige) zand bodems (zie Figuur 17). De bouwvoor in het deelgebied is 15 tot 35 cm dik.



Figuur 17. Overzicht van de aangetroffen bodemtypen tot 100 cm-mv (per 10 cm) in de diepte per locatie in het deelgebied Heidehuizen. Cursief bruin wordt de bouwvoordikte weergegeven.

5.3 Grondwaterstanden en waterkwaliteit

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, het bodemtype en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater. In Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de grondwaterstanden (GLG en GHG) die passen bij verschillende vochtige tot natte, relatief voedselarme natuurtypen.

Tabel 4. 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).

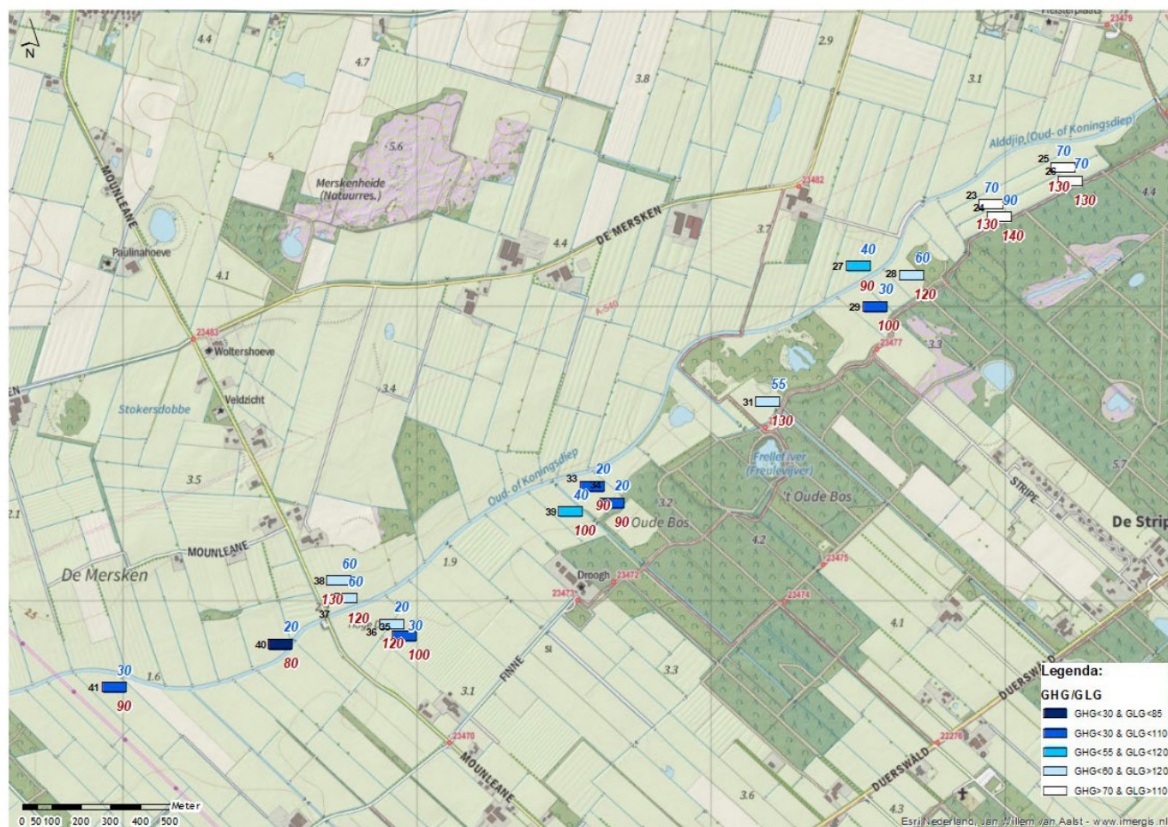
Natuurbeheertype	Specificatie	GHG (cm)	GLG (cm)	pH-H ₂ O	Olsen-P (umol/l FW)	totaal-P (mmol/l FW)
Hoogveen		10 + mv	5 -mv	3.5-5	100-300	0.5-2.5
Vochtige heide		10+ tot 20- mv	20- tot 50- mv	3.5-5	100-500	0.5-2.5
Schraalgrasland	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	40- tot 120 - mv	4.5-6	150-400	1-3
	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)

De ruimtelijke variatie van de gemiddeld laagste (GLG) en gemiddeld hoogste (GHG) grondwaterstand die per locatie werd afgeleid uit het bodemprofiel wordt weergegeven in Figuur 18 t/m Figuur 20. Dit geeft een globale indicatie van de fluctuatie van de grondwaterstand. De verschillen zijn relatief groot. Zie Tabel 1 voor een overzicht per locatie.

Voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen is grondwaterinvloed in het maaiveld vereist van circa oktober tot en met maart. In de zomerperiode dient de bodem beperkt droog te vallen (Tabel 4).

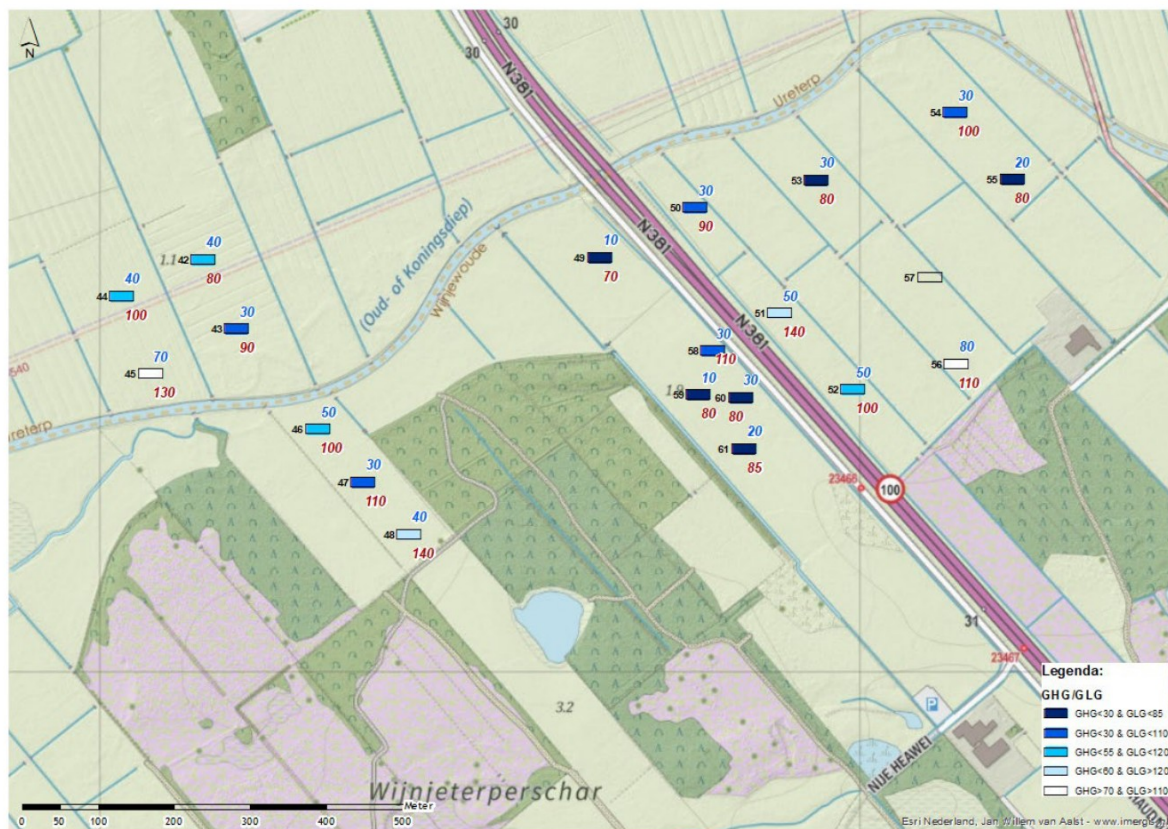
In het gebied zullen, in het kader van de beoogde natuurontwikkeling, maatregelen worden genomen om de grondwaterstanden te verhogen. In het uitgevoerde onderzoek ligt de focus op de bodemchemie en de waterkwaliteit. Het kwantitatieve hydrologische aspect komt slechts beperkt aan bod.





Figuur 19. Overzicht van de afgeleide grondwaterstanden (GHG boven in blauw en GLG onder in rood) per locatie in de deelgebieden Mounleane Oost en West. Alleen de locaties bemonsterd door ATKb zijn opgenomen omdat hier de grondwaterstanden zijn afgeleid aan de hand van het boorprofiel.

In de deelgebieden Mounleane Oost en West zijn de grondwaterstanden relatief hoog. Een uitzondering vormen de oostelijke gelegen locaties (locaties 23-26) waar de grondwaterstanden (fors) lager zijn: GHG: 70-90 cm-mv en GLG 130-140 cm-mv. In de rest van het gebied worden grondwaterstanden van 20 tot 60 cm-mv (GHG) en 80 tot 130 cm-mv (GLG) aangetroffen (zie Figuur 19). Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van de vochtige tot natte natuurtypen in combinatie met hydrologische maatregelen en/of een beperkte ontgroning waarmee het maaiveld dicht bij het grondwater komt te liggen.

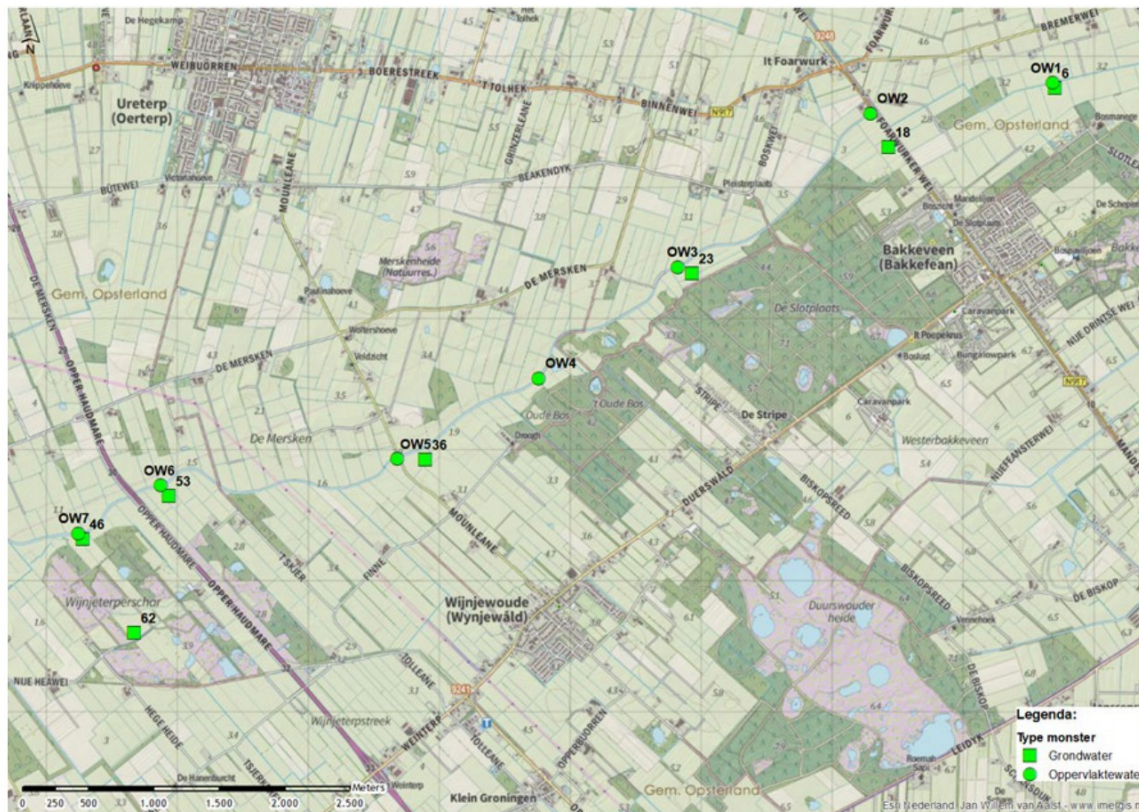


Figuur 20. Overzicht van de afgeleide grondwaterstanden (GHG boven in blauw en GLG onder in rood) per locatie in het deelgebied Heidehuizen. Alleen de locaties bemonsterd door ATKb zijn opgenomen omdat hier de grondwaterstanden zijn afgeleid aan de hand van het boorprofiel.

In het deelgebied Heidehuizen zijn voornamelijk hogere grondwaterstanden aangetroffen. Op slechts drie locaties (locatie 44, 45 en 56) is een GHG > 50 cm-mv aangetroffen. Alle andere locaties hebben een hogere GHG. Ook de GLG is relatief hoog: 80-140 cm-mv (hoofdzakelijk 90-110 cm-mv). De uitzakking van het grondwater is dus beperkt. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van vochtige tot natte natuurtypen in combinatie met hydrologische maatregelen en/of een beperkte ontgroning waarmee het maaiveld dicht bij het grondwater komt te liggen. Op één locatie (57) konden geen grondwaterstanden uit het boorprofiel worden afgeleid (zie Figuur 20).

Waterkwaliteit

Voor het hydrochemisch onderzoek zijn 7 grondwater- en 7 oppervlaktewatermonsters in het gebied verzameld en geanalyseerd (zie Figuur 21). De resultaten worden weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6. De ruimtelijke variatie in waterkwaliteit van enkele relevante parameters wordt weergegeven in Figuur 22 en Figuur 23.



Figuur 21. Overzicht van de watermonsterlocaties in het onderzoeksgebied Koningsdiep.

Alle oppervlaktewatermonsters zijn genomen in het Koningsdiep, van het oosten naar het westen in stroomafwaartse richting van OW1 tot OW7. De pH en de mate van buffering (HCO_3^- en Ca) van het oppervlaktewater nemen stroomafwaarts toe (zie Tabel 5). De pH stijgt van 6,6 naar 7,4, de bicarbonaatconcentratie van ± 1300 naar $\pm 2600 \mu\text{mol/l}$ en de calciumconcentratie van ± 700 naar $\pm 1300 \mu\text{mol/l}$. De hoeveelheid (ortho)-fosfaat in het water is relatief laag (gemiddeld $0,9 \mu\text{mol/l PO}_4^{+}$). De hoeveelheid stikstof in het beekwater is positief laag, alleen op locatie 2 is een (zeer) lichte stikstofverrijking ($15,2 \text{ NO}_3^- \mu\text{mol/l}$ en $10,8 \text{ NH}_4^+ \mu\text{mol/l}$) gemeten. Het oppervlaktewater is zwak sulfaathoudend ($200\text{-}300 \mu\text{mol/l}$). Eventuele inundaties met beekwater lijken hiermee niet direct een risico te vormen voor de beoogde natuurtypen. Let wel: dit betreft een eenmalige waterkwaliteitsmeting. Wanneer bij inundaties voedselrijke slibdeeltjes worden afgezet kunnen deze wel tot een verhoogde voedselrijkdom van de bodem, en daarmee tot verzuuring, leiden. Hier is onvoldoende informatie over beschikbaar.

Tabel 5. Kwaliteit van het oppervlaktewater in het Koningsdiep. In de bovenste tabel zijn de concentraties weergegeven in $\mu\text{mol/l}$, in de onderste tabel zijn de concentraties weergegeven in mg/l (met uitzondering van pH en alkaliniteit). Alk = alkaliniteit in meq/l . EGV = Elektrisch Geleidingsvermogen in $\mu\text{S/cm}$. Turb = turbiditeit in Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

Code	pH	Alk	EGV	Turb.	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Al	Ca	Fe	Mg	P	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
OW 1	6,6	1,3	261	12	708	1279	1,9	669	62	244	2,95	188	3,0	8,7	0,9	928	61	1129
OW 2	7,0	1,8	382	7	452	1765	2,4	942	28	333	1,97	303	15,2	10,8	1,0	1268	117	1429
OW 3	7,1	1,9	382	6	348	1885	1,2	1027	24	332	2,46	283	0,4	6,4	0,9	1219	114	1365
OW 4	7,0	2,3	398	6	480	2150	1,1	1156	35	337	2,24	264	0,5	7,5	1,0	1172	108	1350
OW 5	7,4	2,4	401	7	266	2543	0,9	1187	41	330	2,20	246	0,2	7,1	1,0	1155	107	1318
OW 6	7,2	2,6	409	7	385	2710	0,8	1292	35	312	2,40	209	0,4	7,4	0,8	1111	116	1274
OW 7	7,4	2,5	415	8	238	2573	1,1	1288	41	316	2,65	213	0,2	6,3	0,9	1196	116	1366
Gemiddeld	7,1	2,1	378	7	411	2129	1,3	1080	38	315	2,41	244	2,9	7,7	0,9	1150	106	1319

Code	pH	Alk	EGV	Turb.	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Al	Ca	Fe	Mg	P	SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P-PO ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
OW 1	6,6	1,3	261	12	31	78	0,1	27	3,5	5,9	0,09	18	0,04	0,12	0,03	21	2,4	40
OW 2	7,0	1,8	382	7	20	108	0,1	38	1,6	8,1	0,06	29	0,21	0,15	0,03	29	4,6	51
OW 3	7,1	1,9	382	6	15	115	0,0	41	1,3	8,1	0,08	27	0,01	0,09	0,03	28	4,5	48
OW 4	7,0	2,3	398	6	21	131	0,0	46	1,9	8,2	0,07	25	0,01	0,10	0,03	27	4,2	48
OW 5	7,4	2,4	401	7	12	155	0,0	48	2,3	8,0	0,07	24	0,00	0,10	0,03	27	4,2	47
OW 6	7,2	2,6	409	7	17	165	0,0	52	1,9	7,6	0,07	20	0,01	0,10	0,02	26	4,5	45
OW 7	7,4	2,5	415	8	10	157	0,0	52	2,3	7,7	0,08	20	0,00	0,09	0,03	28	4,5	48
Gemiddeld	7,1	2,1	378	7	18	130	0,0	43	2,1	7,7	0,07	23	0,0	0,1	0,0	26	4,1	47

Tabel 6. Kwaliteit van het grondwater in het gebied. In de bovenste tabel zijn de concentraties weergegeven in $\mu\text{mol/l}$, in de onderste tabel zijn de concentraties weergegeven in mg/l met uitzondering van pH en alkaliniteit). Alk = alkaliniteit in meq/l . EGV = Elektrisch Geleidingsvermogen in $\mu\text{S/cm}$. Fe/P = ijzer:fosfor-ratio van het grondwater in mol/mol .

Code	pH	Alk	EGV	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Al	Ca	Fe	Mg	P	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Fe/P
GW 6	5,7	1,1	259	3138	717	13,8	757	210	424	0,50	748	0,5	113,3	199	55	96	422
GW 18	5,8	1,2	177	2641	641	19,5	338	40	176	0,94	252	4,1	275,7	424	64	494	43
GW 23	6,3	3,0	406	2605	2409	1,4	1550	3	413	0,39	682	2,5	116,5	389	312	260	8
GW 36	6,8	4,0	409	1446	3640	1,2	1425	129	194	2,11	26	0,5	463,8	471	81	613	61
GW 46	6,3	1,6	253	1615	1226	3,0	1045	3	302	0,60	511	2,3	38,2	85	71	197	5
GW 53	6,4	4,7	466	4064	4529	1,8	1989	8	189	1,20	51	0,7	89,4	741	281	365	6
GW 62	6,4	2,3	230	2215	2063	2,5	884	3	112	0,14	77	0,3	11,3	501	124	24	18

Code	pH	Alk	EGV	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Al	Ca	Fe	Mg	P	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Fe/P
GW 6	5,7	1,1	259	138	44	30,3	757	11,7	10,3	0,02	24,0	0,0	1,6	4,6	2,2	3,4	-
GW 18	5,8	1,2	177	116	39	13,5	338	2,3	4,3	0,03	8,1	0,1	3,9	9,7	2,5	17,5	-
GW 23	6,3	3,0	406	115	147	62,1	1550	0,2	10,0	0,01	21,9	0,0	1,6	9,0	12,2	9,2	-
GW 36	6,8	4,0	409	64	222	57,1	1425	7,2	4,7	0,07	0,8	0,0	6,5	10,8	3,2	21,7	-
GW 46	6,3	1,6	253	71	75	41,9	1045	0,2	7,3	0,02	16,4	0,0	0,5	2,0	2,8	7,0	-
GW 53	6,4	4,7	466	179	276	79,7	1989	0,4	4,6	0,04	1,6	0,0	1,3	17,0	11,0	12,9	-
GW 62	6,4	2,3	230	97	126	35,4	884	0,1	2,7	0,00	2,5	0,0	0,2	11,5	4,9	0,9	-

.....

De grondwaterkwaliteit is van invloed op de vegetatieontwikkeling in een gebied. Voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke (zwak)gebufferde natuurtypen is vooral de mate van buffering van het grondwater relevant. Voor de ontwikkeling van blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden is vereist dat grondwater gedurende een langere periode (circa oktober t/m april) in het maaiveld uittreedt. Door de aanrijking met basen wordt (verdere) verzuring van de toplaag tegengegaan. Wanneer tevens ijzer wordt aangevoerd kan dit leiden tot fosfaatimmobilisatie. Voor heischrale graslanden is het vaak al voldoende als zwak-matig gebufferd grondwater nabij maaiveld staat zodat buffering kan plaatsvinden door capillaire opstijging. Door te zorgen voor voldoende afvoer van regenwater middels ondiepe, reguleerbare greppels of via laagtes in het landschap (mits deze laagte hydrologisch optimaal functioneert) wordt voorkomen dat het grondwater lokaal wordt verdund of 'weggedrukt' door regenwater. Het is zaak voldoende doorstroming te creëren met droogval van de toplaag in de zomerperiode.

Wanneer het grondwater niet hoog en/of lang genoeg in de toplaag van de bodem doordringt om aanrijking van de basenvoorraad te bewerkstelligen ter compensatie van de zuurvorming die plaatsvindt als gevolg van oxidatieprocessen in de toplaag (de vereiste periode is afhankelijk van de buffering en de Ca+Mg-concentraties van het grondwater) zal de bodembuffering afnemen. Zowel de mate van buffering als het aantal weken dat grondwater in het maaiveld uittreedt, is hierop van invloed. Zwak tot matig gebufferd grondwater is in principe geschikt voor de ontwikkeling van nat schraalland (heischraal grasland, blauwgrasland, veldrusschraalland). Onder zeer ijzerrijke (en veelal wat meer gebufferde) omstandigheden kan een vochtig hooiland (dotterbloemhooiland) tot ontwikkeling komen. Een goede parameter voor de mate van buffering is de bicarbonaatconcentratie (HCO_3^-) van het grondwater.

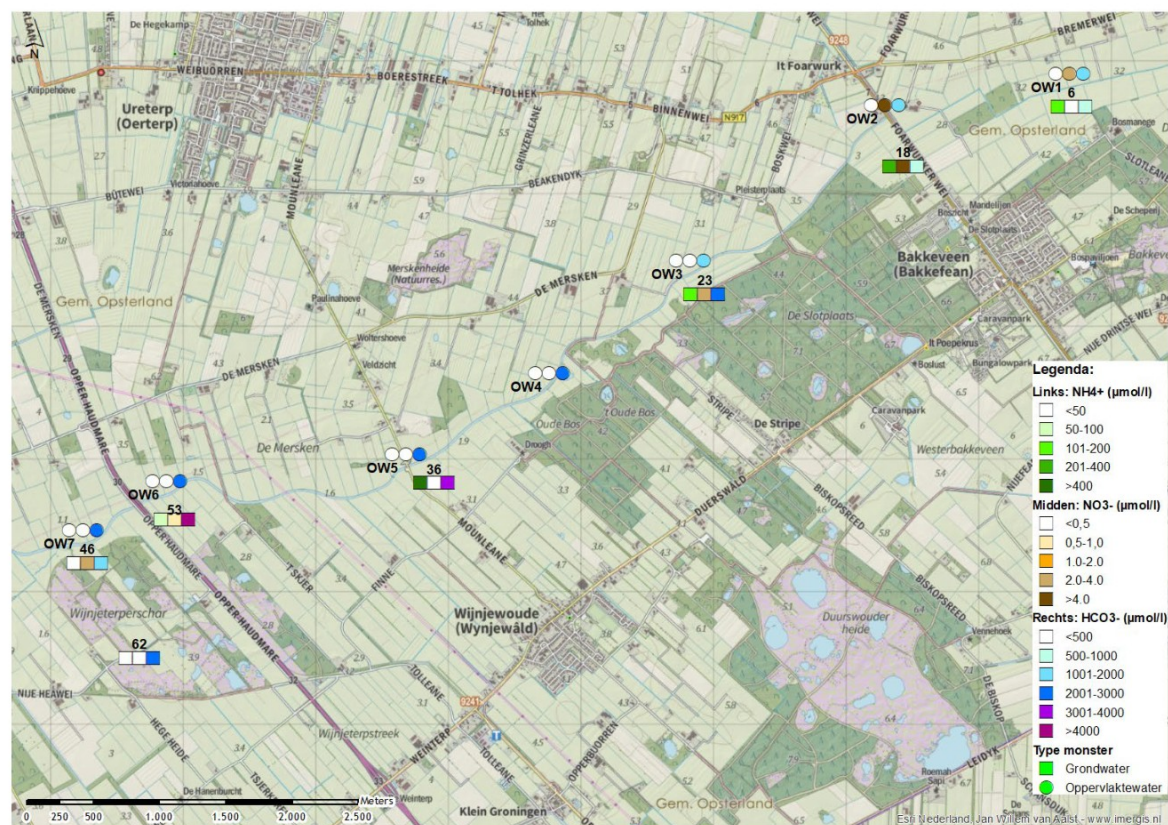
Op 7 locaties in het onderzoeksgebied is het freatische grondwater eenmalig bemonsterd uit een boorgat. Om een beter beeld te krijgen van de grondwaterkwaliteit is het waardevol om deze meting te herhalen in de natte winterperiode (en tevens de oppervlaktewaterkwaliteitsmeting op bijvoorbeeld drie locaties, OW1, OW4 en OW7 te herhalen). Het bemonsterde grondwater is matig tot zeer goed gebufferd ($641\text{-}4529 \mu\text{mol HCO}_3^-/\text{l}$; Tabel 6). In het oosten van het gebied (locatie 6 en 18) is de mate van buffering het laagst ($641\text{-}717 \mu\text{mol/l HCO}_3^-/\text{l}$). Er zijn licht verhoogde tot hoge ammoniumconcentraties gemeten ($11,3\text{-}464 \mu\text{mol/l NH}_4^+$), dit is mogelijk het gevolg van uitspoeling uit aangrenzende landbouwpercelen en de afbraak van organisch materiaal/ veen. De hoogste ammoniumconcentraties werden namelijk gemeten op de locatie 18 en 36: locaties waar sprake is van een dik veenpakket.

Het grondwater in het gebied is op de meeste locaties verrijkt met sulfaat ($252\text{-}748 \mu\text{mol/l}$). Hoge sulfaatconcentraties van het grondwater kunnen in natte gebieden leiden tot P-mobilisatie als gevolg van interne eutrofiëringsprocessen (mobilisatie van fosfaat dat in de bodem aan ijzer is gebonden). Op de locaties 36, 53 en 62 zijn de sulfaatconcentraties laag ($<100 \mu\text{mol/l}$). Mogelijk is sulfaat op deze locaties gereduceerd tot sulfide. Een proces waarbij tevens alkaliniteit (buffering) wordt gegenereerd.

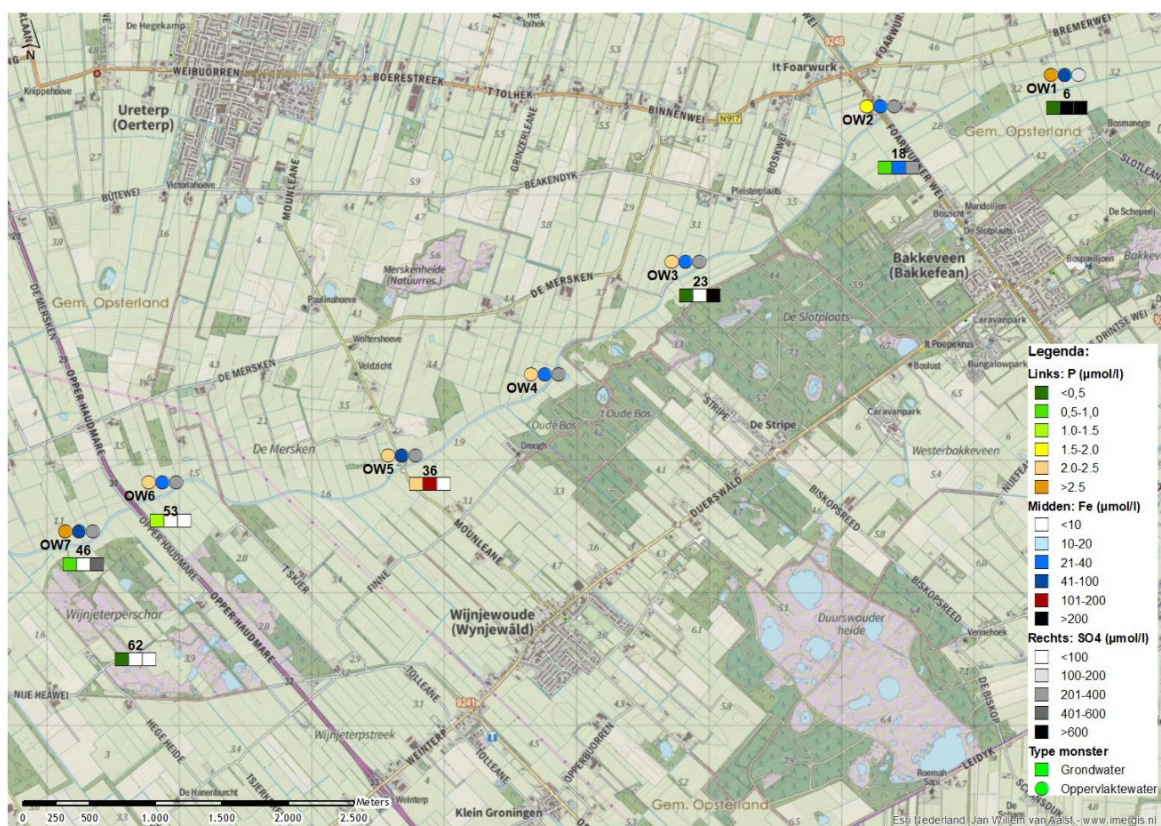
Alleen op locatie 6 en 36 zijn hoge ijzerconcentraties ($129\text{-}210 \mu\text{mol/l Fe}$) gemeten. Op locatie 18 was het grondwater ijzerhoudend ($40 \mu\text{mol/l}$). Op de overige locaties was het grondwater ijzerarm ($< 10 \mu\text{mol/l}$). Uit Figuur 27 blijkt dat de bodem op de locaties 6, 18 en 36 niet zeer-extreem ijzerrijk is. Mogelijk zijn de ijzerconcentraties in het grondwater als gevolg van bijvoorbeeld nitraatuitspoeling afgenomen en zijn de (lokaal) hoge ijzerconcentraties in de bodem het gevolg van natte periodes met ijzerrijk grondwater in het verleden. Daarnaast is waarschijnlijk de grondwaterinvloed aan maaiveld afgenomen als gevolg van de ontwatering die heeft plaatsgevonden voor het landbouwkundig gebruik van de percelen.

Het grondwater in het gebied bevat relatief weinig fosfor ($0,1\text{-}2,1 \mu\text{mol/l}$). De relatief lage fosforconcentraties in het gebied zijn gunstig voor de beoogde natuurontwikkeling. Ook de mate

van buffering is geschikt voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld nat schraalland en/of vochtig hooiland. Het grondwater is slechts lokaal nog ijzerrijk. Op basis van de gemeten sulfaatconcentraties wordt aanbevolen voldoende doorstroming te generen wanneer vernattingsmaatregelen worden uitgevoerd. In Figuur 22 en Figuur 23 worden diverse parameters ruimtelijk op een topografische kaart weergegeven.



Figuur 22. Overzicht van de buffering (HCO_3^-) en stikstofconcentraties in het grondwater van Koningsdiep op een topografische kaart.



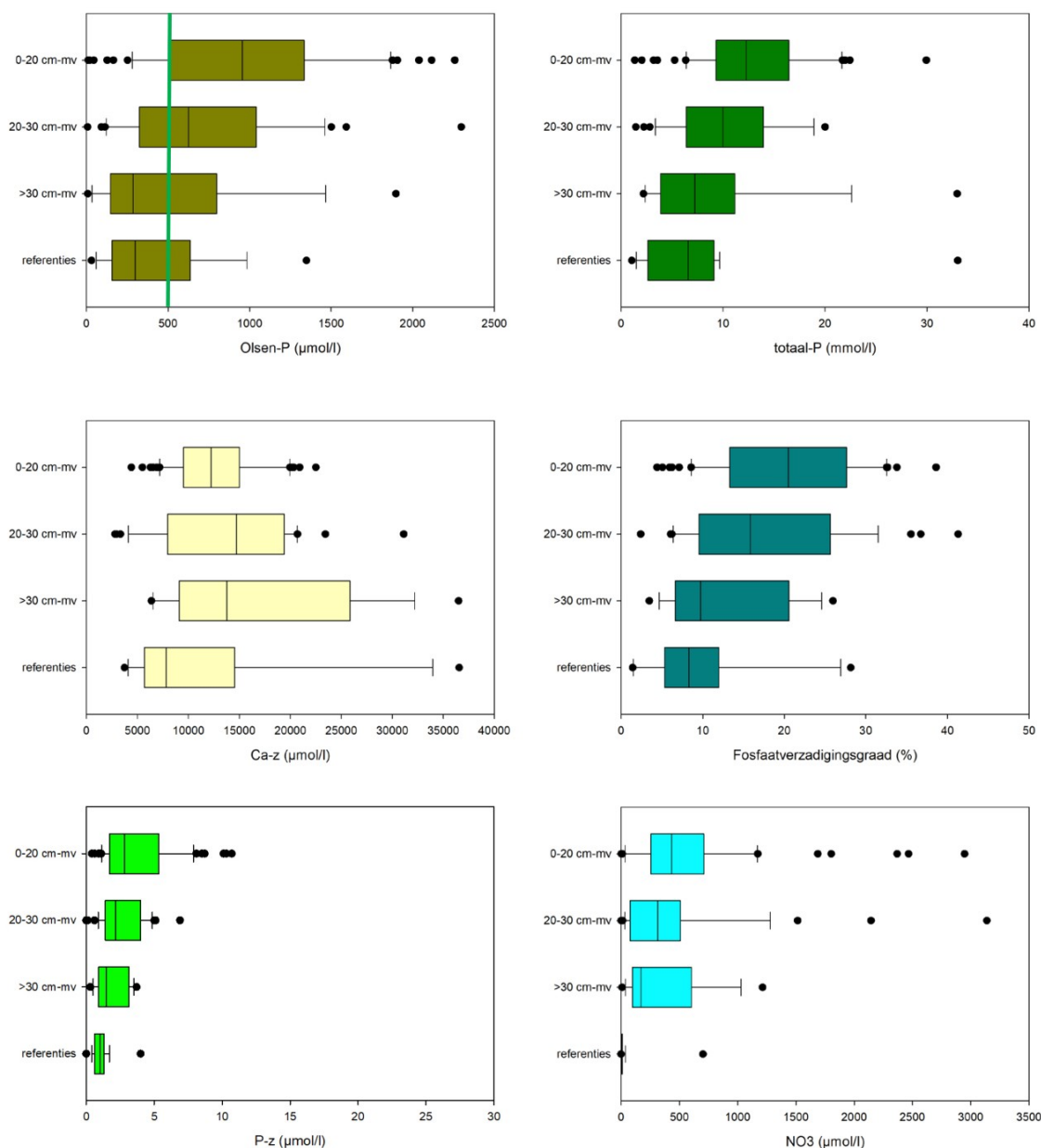
Figuur 23. Overzicht van de fosfaat-, ijzer en zwavelconcentraties in het grondwater van Koningsdiep op een topografische kaart.

5.4 Algemene bodemchemie

Voor het ontwikkelen van soortenrijke natuurtypen is het belangrijk dat de fosfaatbeschikbaarheid voldoende 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. Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurtypen worden de volgende Olsen-P streefconcentraties gehanteerd (de totaal-P concentratie kan sterk variëren afhankelijk van de ijzer- en calciumconcentraties en/of de kleiigheid van de bodem):

- Heide: (<)100-300 μmol/l bodem (totaal-P veelal <2,5-3 mmol/l);
- Nat schraalland: (<)300-500 μmol/l bodem;
- Vochtig hooiland: 300-800/900 μmol/l bodem;
- Soortenrijk kruiden- en faunarijck grasland: 900-1200 μmol/l bodem;
- Kruiden- en faunarijck grasland: >1200 μmol/l bodem (mits P-z < 2 μmol/l en nitraat <100-200 μmol/l).

De totaal-P concentratie geeft de totale P voorraad in de bodem weer 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 (gehalten) in deze rapportage uitgedrukt per liter verse bodem.



Figuur 24. Boxplots van de Olsen-P (inclusief bovengrens (groen) voor de ontwikkeling van schrale natuurtypen: 500 µmol/l), totaal-P concentraties, P-z, NO₃⁻, Ca-z concentraties en fosfaatverzadigingsgraad in Koningsdiep. In de boxplots is onderscheid gemaakt tussen de 0-20 cm-mv (n=61), 20-30 cm-mv (n= 36), >30 cm-mv (n=14) en referenties (n=19). 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.

Wat opvalt, is dat de toplaag van de bodems (0-20 cm-mv) over het algemeen slechts beperkt tot matig verrijkt zijn met fosfaat (plantbeschikbaar fosfaat: 11-2116 µmol/l Olsen-P en overwegend 500-1300 µmol/l). De totaal-P concentraties variëren sterker (1,3-99,1 mmol/l bodem), mede doordat de ijzerconcentraties lokaal sterk variëren. Op 12 locaties is de gemeten Olsen-P concentratie (343-464 µmol/l) al lager dan de streefconcentratie voor schrale natuurtypen (<500 µmol/l). Er lijkt dus sprake van relatief extensief gebruikte percelen. Dit zien we ook terug in de overwegend relatief lage P-z en lokaal slechts beperkt verhoogde nitraatconcentraties in de toplaag (dit is positief voor een kruidenrijke ontwikkeling). Daarnaast is de fosfaatverzadigingsgraad overwegend circa 12-28%. Dit is eveneens relatief laag. Ter vergelijking:

.....
op intensief bemeste zandgronden worden Olsen-P concentraties van circa 2.500-6.000 $\mu\text{mol/l}$ gemeten en 30-100 $\mu\text{mol/l}$ P-z, >1000 $\mu\text{mol/l}$ nitraat en een fosfaatverzadigingsgraad van 40-70%.

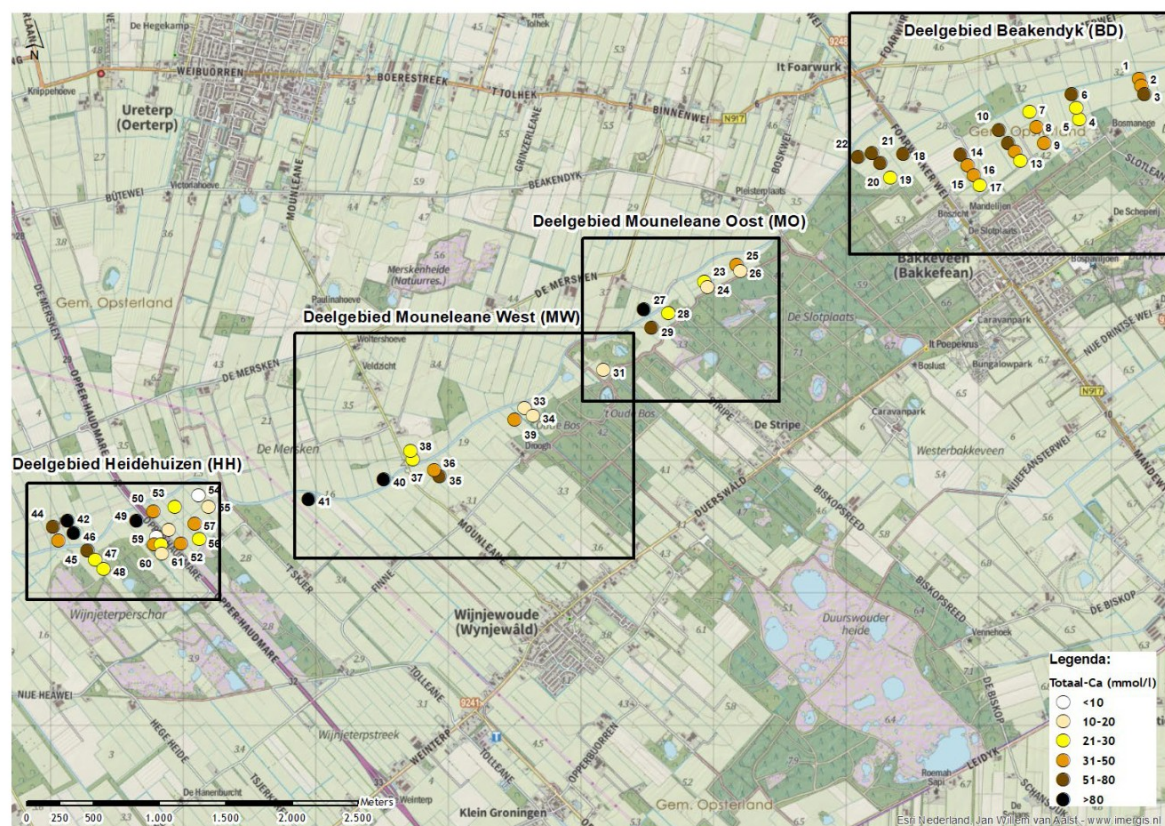
De fosfaatconcentraties nemen af met diepte. De bodem op 20-30 cm-mv is minder verrijkt met fosfaat waardoor in 15 van de 36 bodemlagen een Olsen-P concentratie gemeten is onder de streefconcentratie voor schrale natuurtypen (<500 $\mu\text{mol/l}$). Vanaf 30 cm-mv komen de concentraties overeen met de metingen op de referentielocaties. Overigens dient te worden opgemerkt dat er overwegend slechts op één of twee dieptes bodemanalyses hebben plaatsgevonden. De overige bodemlagen zijn niet geanalyseerd en worden bewaard voor eventuele aanvullende analyses in een later stadium.

De calciumconcentraties in de bodem verschillen relatief sterk. Het verschil tussen de locaties neemt toe met de diepte. Op 30 cm-mv is de spreiding zeer groot (6.373-36.499 $\mu\text{mol/l}$ Ca-z). De spreiding per locatie is daarentegen beperkt. De concentraties zoutuitwisselbaar calcium variëren van circa 4.000-25.000 $\mu\text{mol/l}$ (overwegend 9.000-20.000 $\mu\text{mol/l}$) en de totale calciumconcentraties van circa 8-125 mmol/l (overwegend 20-70 mmol/l). De venige bodems zijn veelal het sterks gebufferd.

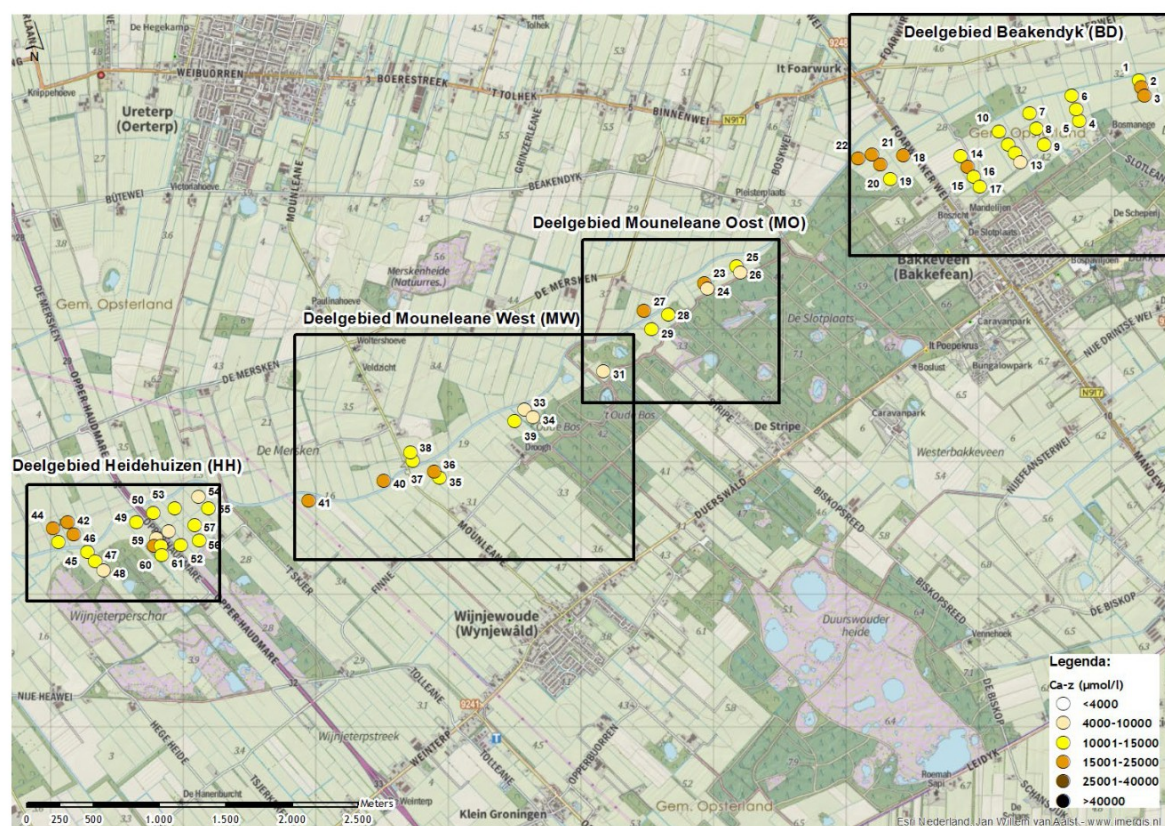
Op basis van de calciumconcentraties kunnen in het gebied overwegend blauwgrasland en heischraalgrasland tot ontwikkeling komen. Op zuurdere zandbodems kan daarnaast heide tot ontwikkeling komen en op meer gebufferde, ijzerrijke bodems dotterbloemhooiland.

De ijzerconcentratie in de bodem lijkt de trend van het calcium te volgen: op calciumrijke plekken wordt ook veel ijzer aangetroffen. Waarschijnlijk zijn dit de locaties die van oorsprong het meest nat zijn geweest waardoor gebufferd, ijzerrijk grondwater de bodem heeft verrijkt met calcium en ijzer. In Figuur 25 en Figuur 26 wordt de ruimtelijke variatie in de mate van buffering (Ca-t en Ca-z) van de toplaag weergegeven en in Figuur 27 de ruimtelijke variatie van ijzer in de toplaag.

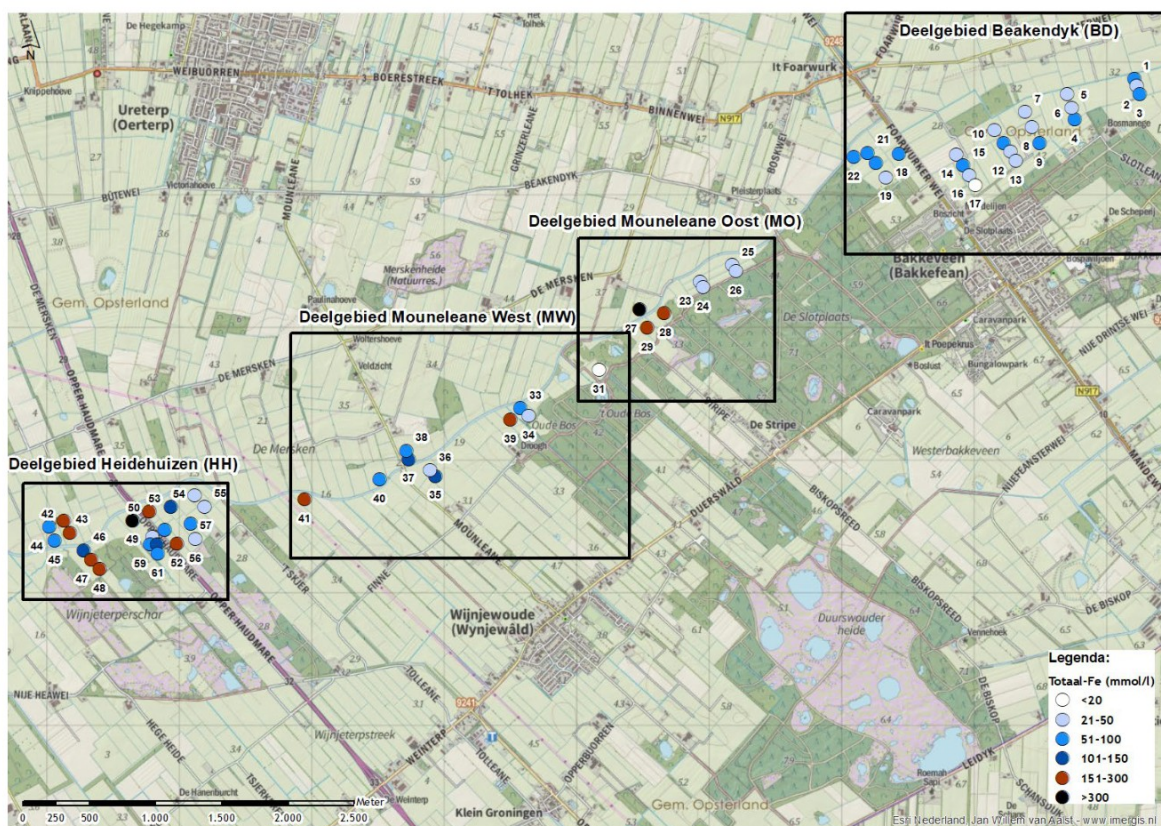
De buffering vanuit het beekdal naar de flanken biedt dus vooral kansen voor de ontwikkeling van een blauwgrasland en heischraalgrasland (beiden nat schraalland N10.01). De opdrachtgever had qua doeltypen vooral de ontwikkeling van vochtig hooiland/ dotterbloemhooiland (langs de beek) en nat schraalland (op de flanken) voor ogen. De bodem in het onderzoeksgebied lijkt echter wat minder gebufferd en ijzerrijk waardoor de gradiënt er wat anders uit komt te zien. Feit blijft echter dat er veel kansen liggen voor de ontwikkeling van hoogwaardige, soortenrijke natuurtypen onder voldoende voedselarme en de juiste hydrologische condities. Lokaal liggen er ook mogelijkheden voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland.



Figuur 25. Overzicht van de calcium-totaal concentraties in de bodem (0-20 cm-mv) in het onderzoeksgebied op een topografische kaart.



Figuur 26. Overzicht van de calcium-zinc concentraties in de bodem (0-20 cm-mv) in het onderzoeksgebied op een topografische kaart.



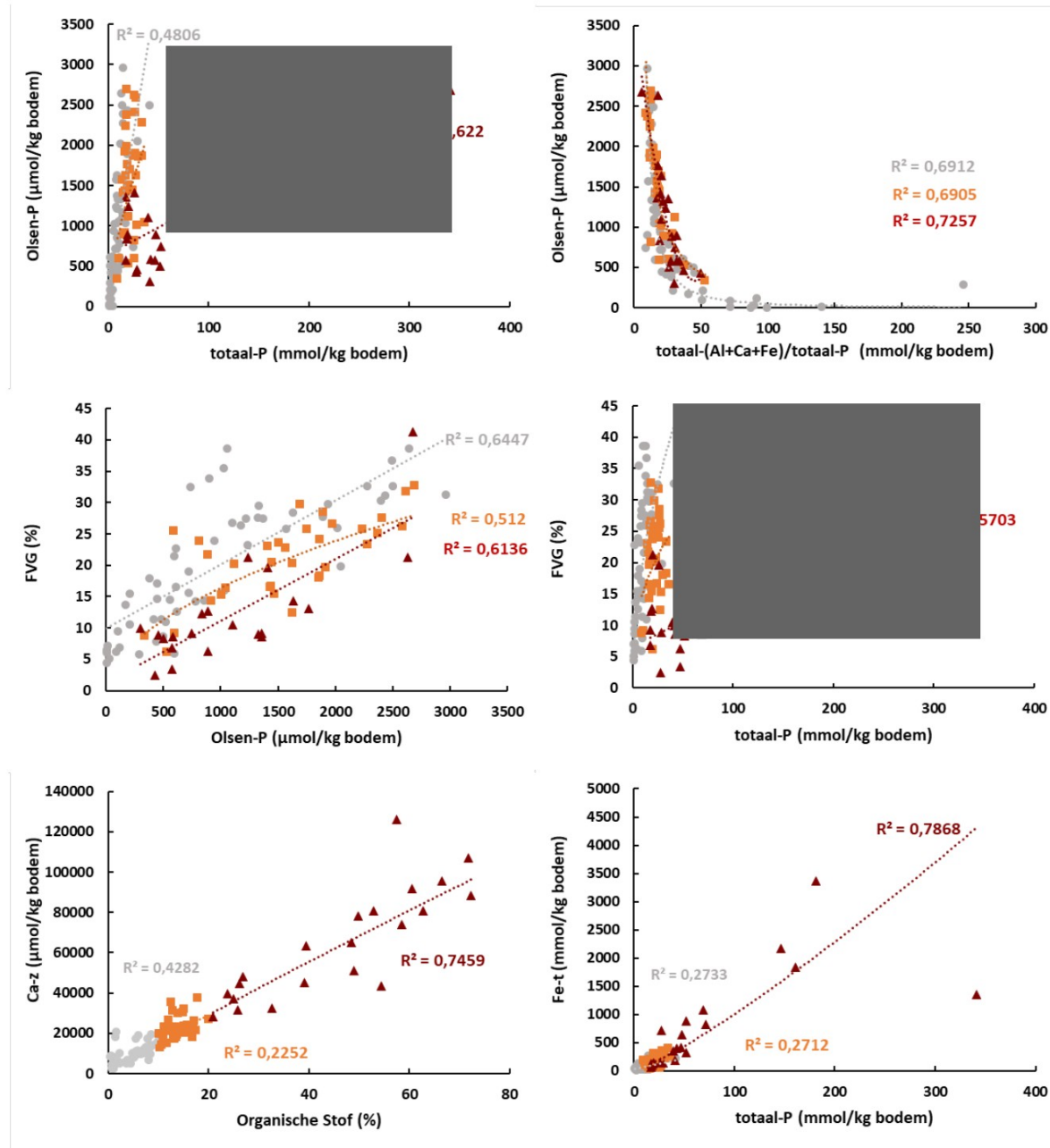
Figuur 27. Overzicht van de ijzer-totaal concentraties in de bodem (0-20 cm-mv) in het onderzoeksgebied op een topografische kaart.

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 bodem in Koningsdiep is overwegend niet tot matig verrijkt met nitraat ($<600 \mu\text{mol/l NO}_3^-$). Lokaal is de toplaag echter zeer sterk verrijkt met nitraat ($>> 1.000 \mu\text{mol/l bodem}$). Op locaties 1, 2, 27, 28 en 29 werden de hoogste nitraatconcentraties aangetroffen ($1214-3138 \mu\text{mol/l NO}_3^-$). Over het algemeen zijn hogere stikstofconcentraties het gevolg van bemesting (in recente jaren) en/of de mineralisatie van organisch stof (veen).

Hoge stikstofconcentraties zijn vaak een minder groot probleem voor de beoogde natuurontwikkeling dan fosfaat. Nitraat is, in tegenstelling tot fosfaat, relatief mobiel en kan als gevolg van uitspoeling en denitrificatieprocessen op een natuurlijke manier uit het systeem verdwijnen (zie ook Figuur 2). In percelen die langer uit landbouwkundig gebruik zijn en verschaald worden zijn de nitraat- en P-zout concentraties vaak lager in vergelijking met percelen die in landbouwkundig gebruik zijn.

De uitspoeling van nitraat naar het grondwater kan wel een effect hebben op de ijzerconcentratie van het grondwater. Nitraatrijk grondwater bevat over het algemeen namelijk nauwelijks ijzer doordat opgelost ijzer (Fe^{2+}) wordt geoxideerd door nitraat en neerslaat in de bodem. IJzerrijk grondwater is juist positief voor de ontwikkeling van natte natuurtypen omdat dit fosfaat kan immobiliseren. Daarnaast kan nitraatuitspoeling leiden tot sulfaatmobilisatie als gevolg van de oxidatie van pyriethoudende (FeS_x) bodemlagen. Sulfaatrijk grondwater kan interne eutrofiëringsprocessen versterken.

Bodemcorrelaties



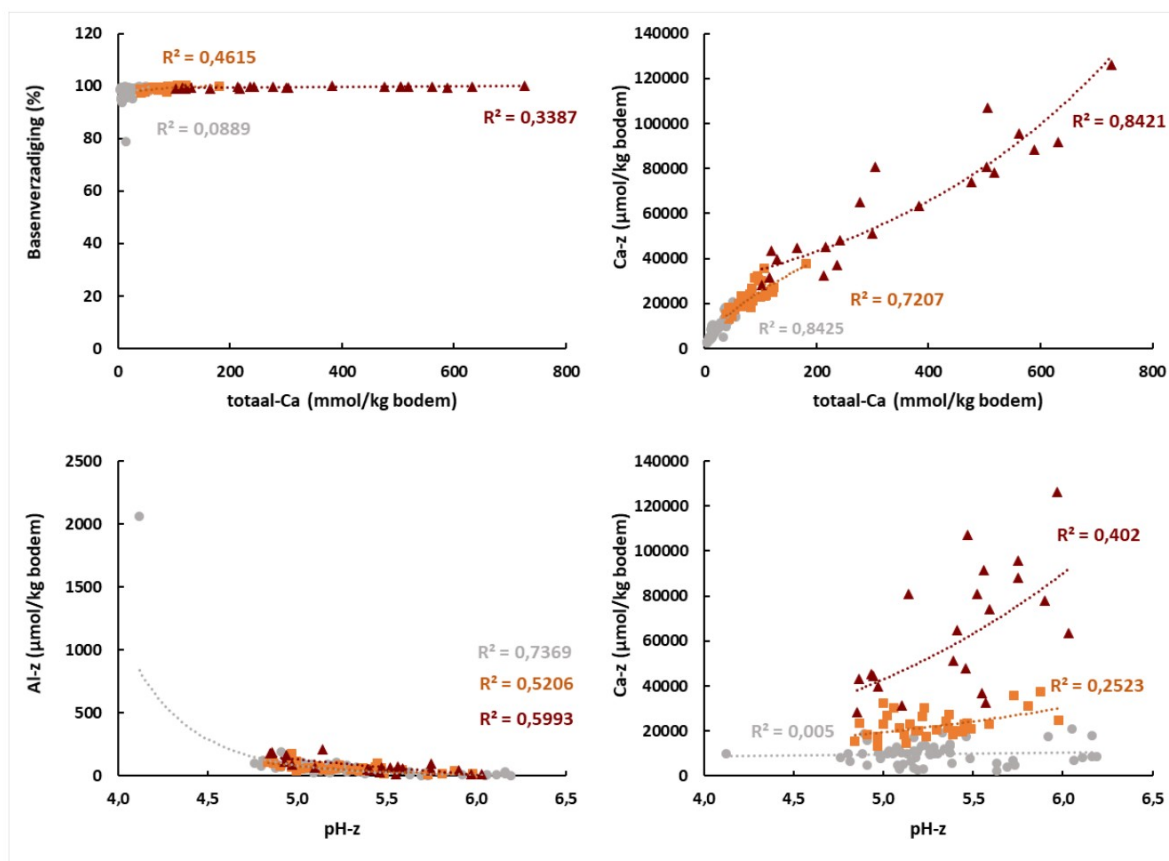
Figuur 28. Correlaties tussen enkele fosfaatgerelateerde bodemchemische variabelen in Koningsdiep (excl. referenties). De bodemonsters zijn verdeeld in zand (<10% organisch stof; grijs), de matig humeus/ zeer sterk veraard veen (10-20% organisch stof; oranje) en (veraaard) veen (>20% organisch stof; bruin).

Een lage fosfaatbeschikbaarheid biedt, zoals beschreven in hoofdstuk 2, goede kansen voor de ontwikkeling van (natte) voedselarme natuur. De Olsen-P concentratie (fosfaatbeschikbaarheid) correleert vooral goed met de totaal-P concentratie in de veenbodems (Figuur 28, linksboven). Bij de bodems met een organisch stofgehalte <20% kan niet echt een duidelijke correlatie tussen de Olsen-P en totaal-P worden aangetroffen: de spreiding is groot. De aangetroffen variatie kan duiden op een grote variatie in bodemchemie (ijzer- en calciumrijkdom) en/of grondgebruik/bemesting.

De Olsen-P concentratie wordt namelijk niet alleen bepaald door de totaal-P concentratie maar wordt ook beïnvloed door de Ca-, Fe- en Al-concentraties (P-bindende). Fosfor wordt in bodems zeer effectief geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzer(hydr)oxiden en door de vorming van ijzerfosfaat

zouten zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (onder anaerobe condities) en FePO_4 onder aerobe condities. Hierdoor wordt extra fosfaat gebonden in bodems met een hoge ijzerconcentratie. 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 kleideeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder. Op plaatsen waar de bodem rijk is aan ijzer, aluminium en calcium ten opzichte van totaal-P blijft de P-beschikbaarheid voor planten (Olsen-P) doorgaans laag, dit is goed te zien voor alle type bodems in Figuur 28 (rechtsboven). De totaal-P concentraties kunnen dan ook relatief hoog zijn op ijzer- en calciumrijke (klei)bodems, terwijl de beschikbaarheid van fosfaat (relatief) beperkt blijft.

De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in het gebied correleert matig tot goed met de totaal-P en Olsen-P concentraties in de bodem (Figuur 28 links- en rechtsonder). Uit deze correlaties is ook af te lezen dat op venige bodems de concentratie Olsen-P en totaal-P concentraties hoger kunnen zijn bij eenzelfde fosfaatverzadigingsgraad. Dit komt doordat voornamelijk de meer venige bodems rijker aan ijzer en daarmee ook rijker aan totaal-P zijn (Figuur 28). Wanneer de bodem boven de GHG een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) > 25% heeft wordt de bodem als fosfaatverzadigd beoordeeld en bestaat kans op uitspoelen van fosfaat (Schoumans, 2004; Schoumans e.a., 2008). De FVG van de bodems is relatief laag. Hier komen we nog op terug wanneer de risico's op P-mobilisatie bij vernatting worden toegelicht. De venige bodems zijn ook het meest gebufferd: hoe hoger het percentage organische stof hoe hoger de concentratie zoutuitwisselbaar calcium (Figuur 28).



Figuur 29. Correlaties tussen enkele buffering gerelateerde bodemchemische variabelen in Koningsdiep (excl. referenties). De bodemonsters zijn verdeeld in zand (<10% organisch stof; grijs), de matig humeus/ zeer sterk veraard veen (10-20% organisch stof; oranje) en (veraard) veen (>20% organisch stof; bruin).

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 (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 en is in veel bodems het belangrijkste buffermechanisme. In niet tot zwak gebufferde bodems kan de bodem in de aluminiumbufferrange ($\text{pH}_w < 4,5$) komen. De pH gemeten in de zoutextracten ligt tussen 4,1 en 6,2, waarbij de pH zout vaak 0,5-1 pH eenheid lager is dan de pH water. De bodems worden dus voornamelijk gebufferd via de uitwisseling van basische kationen. Vanwege de brede range in de pH-waardes in de bodem van Koningsdiep zijn de andere twee genoemde bufferingmechanismes wel van toepassing op enkele bodems. Bij de lagere pH-waardes neemt de concentratie uitwisselbaar aluminium toe (Figuur 29, linksonder) waardoor, vooral voor één bodem (locatie 19, 30-40 cm-mv), er sprake is van de aluminiumbufferrange. Hetzelfde geldt voor de (bi)carbonaatbuffering. In Figuur 29 (rechtsonder) is te zien dat, vooral in de veenbodems, de calciumconcentratie toeneemt naarmate de pH-z toeneemt.

Een zoutextract geeft een beeld van de hoeveelheid uitwisselbare kationen, waarbij kleideeltjes (lutum) en organisch materiaal een belangrijk deel van het bodemadsorptiecomplex in de bodem vormen. Indien het bodemadsorptiecomplex volledig is opgeladen met basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+) is de basenverzadiging 100%. In het gebied is de indicatieve basenverzadiging gemiddeld 98,6%, dus het bodemadsorptiecomplex is vrijwel geheel opgeladen met basische kationen.

In het gebied correleert de hoeveelheid zoutuitwisselbaar calcium zeer goed met de totaal-calcium concentraties (Figuur 28, rechtsboven). De variatie in de gemeten totaal-Ca- (5-155 mmol/l) en Ca-z concentraties (2.805-36.499 $\mu\text{mol/l}$) is groot. De zeer zwak gebufferde tot zure bodems passen bij de ontwikkeling van heide. De zwak-matig gebufferde bodems passen bij de ontwikkeling van een heischraalgrasland/blauwgrasland (nat schraalland). En de sterker gebufferde (ijzerrijke) bodems passen bij de ontwikkeling van vochtig hooiland zoals dotterbloemhooiland. De ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen is alleen mogelijk onder de juiste hydrologische en voldoende voedselarme omstandigheden. Zie paragraaf 5.5 voor meer informatie over de relatie tussen de mate van buffering en de natuurpotenties.

5.5 Kansen voor natuurontwikkeling

Doel van het huidige onderzoek is om de kansen voor de ontwikkeling van 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 vooral 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 $\mu\text{mol/l}$ zijn over het algemeen voldoende gebufferd voor (matig) gebufferde natuurtypen (Tabel 7). Op calciumarme bodems ligt de ontwikkeling van heide (of hoogveen) voor de hand (zeer indicatief: $\text{Ca-t} < 10$ mmol/l en $\text{Ca-z} < 3.000/4.000$ $\mu\text{mol/l}$). Op zwak-calciumhoudende bodems ($\text{Ca-tot} > 10$ mmol/l en $\text{Ca-z} 3.000/4.000-8.000$ $\mu\text{mol/l}$) 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 ($\text{Ca-z: } 8.000-30.000$ $\mu\text{mol/l}$) kan onder de juiste hydrologische omstandigheden (essentieel!) een blauwgrasland of veldruisschraalland tot ontwikkeling komen. Op sterk gebufferde bodems ($\text{Ca-z: } > 20.000-50.000$ $\mu\text{mol/l}$ en/of hoge totaal-Ca concentraties) kan onder vochtige tot natte omstandigheden een dotterbloemhooiland (of Elzenbroekbos) tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een kamgrasweide/glanshaverhooiland).

en referentiemetingen. Bron: van Mullekom & [REDACTED] (2012)

[illegible]

Verschrallingsduur

verschrallingsduur berekend worden.

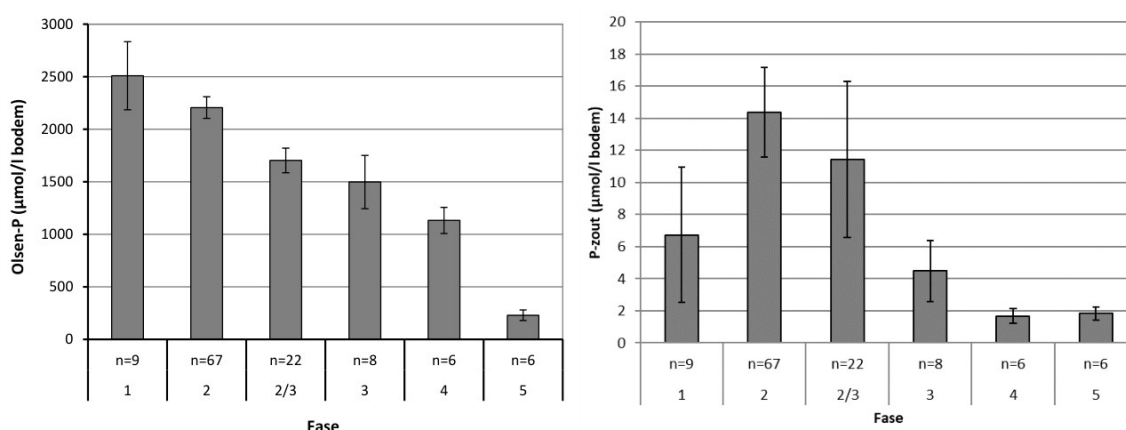
van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 $\mu\text{mol Olsen-P/l}$ de

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 overal 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 door de hoge hoeveelheid ijzer in de bodem. Voor uitmijnen kan de verschrallingsduur op dezelfde wijze berekend worden, maar dan wordt uitgegaan van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar. Deze afvoer kan gehaald worden met uitmijnen met grasklaver in combinatie met kalibemesting of een productieve graszode in combinatie met stikstof- en kalibemesting, maar de daadwerkelijke onttrekking is afhankelijk van de omstandigheden (o.a. effectiviteit en hydrologie).

In Tabel 8 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 20-25 cm bij elkaar worden opgeteld.

Wanneer de vereiste inrichtingsmaatregelen voor schrale doeltypen te ingrijpend of niet te realiseren zijn kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijke grasland met een Olsen-P streefconcentratie van circa 900-1200 $\mu\text{mol/l}$. Uit recent onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is ($<900-1200 \mu\text{mol/l}$; Figuur 30).

Dit is slechts een indicatieve streefwaarde: 'kruidenrijk grasland' is een breed begrip waardoor er 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.



Figuur 30. 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-kruidenmix, fase 4 = kruidenrijk grasland en fase 5 = heischraal grasland. Bron: Scherpenisse e.a. (2017).

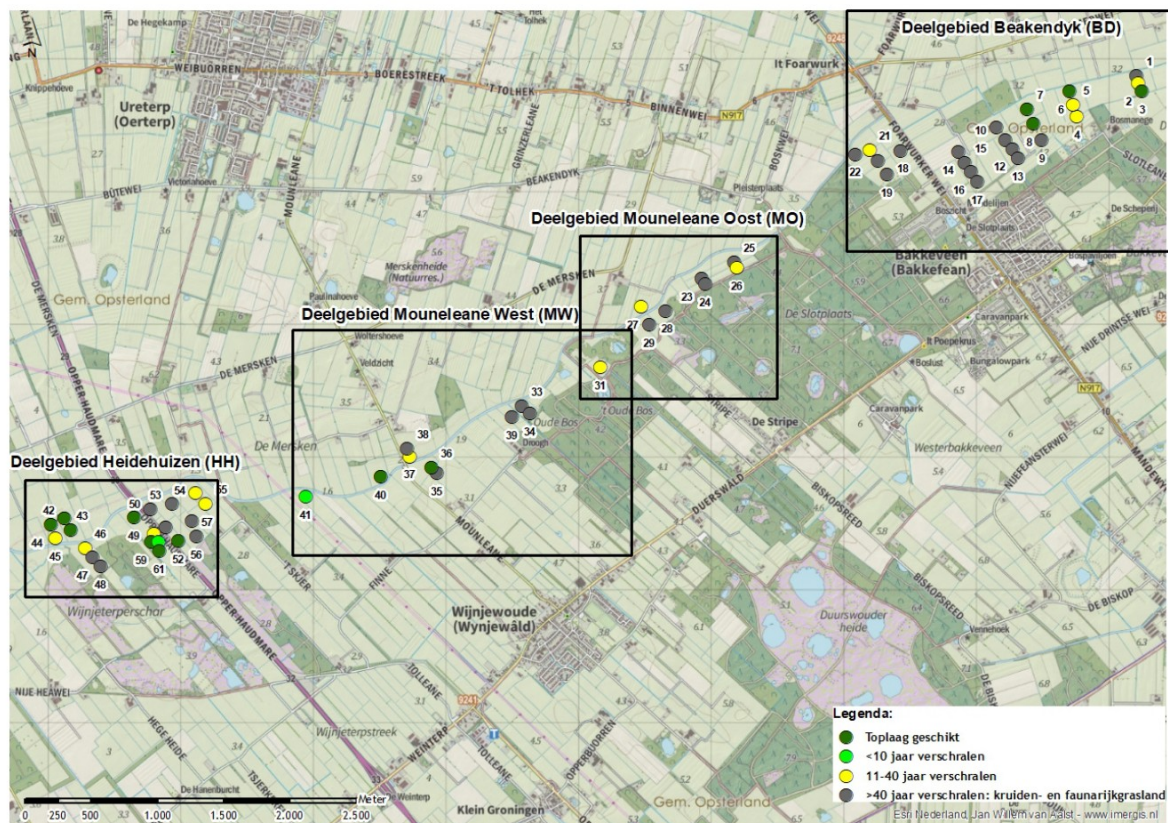


Figuur 31. Foto's van een goed ontwikkeld droog (links; Winterswijk) en vochtig (rechts; Doetinchem) kruiden- en faunarijk grasland. Foto's: Mark van Mullekom.

De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de meest labiele P-fractie voldoende laag is ($P-z < 1-2 \mu\text{mol/l}$) en ook de nitraatconcentratie laag is ($< 100-200 \mu\text{mol/l}$). Om op voedselrijkere gronden de dominantie van witbol te doorbreken wordt geadviseerd witbol vroeg af te maaien, bijvoorbeeld in mei. Deze grassen bloeien namelijk voordat de zomerkruiden gaan bloeien. Op deze manier wordt gestreepte witbol actief teruggedrongen ten gunste van later bloeiende kruidachtigen. Goed ontwikkelde kruidenrijke graslanden worden vaak laat in de zomer (augustus/september) gemaaid.

Mogelijkheden voor de ontwikkeling van de huidige toplaag

Op diverse plekken in het gebied is de huidige toplaag voldoende fosfaatarm om de ontwikkeling van heischraalgrasland of blauwgrasland mogelijk te maken na het verwijderen van de zode (donkergroen in Figuur 32). Echter soms is een verschrallingsbeheer van enkele jaren (lichtgroen in Figuur 32) tot enkele tientallen jaren (geel in Figuur 32) nodig. Op de meest fosfaatverrijkte locaties (grijs in Figuur 32) is de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland het meest reëel op de huidige toplaag. In Figuur 32 zijn de verschrallingsmogelijkheden van de toplaag weergegeven.



Figuur 32. Overzicht van de mogelijkheden voor de ontwikkeling van de huidige toplaag op een topografische kaart.

Uitmijnen (paragraaf 2.3) gaat vier keer zo snel als maaien en afvoeren. Het is echter wel een compleet andere vorm van verschrallingsbeheer waarbij 4-5 sneden per jaar worden afgevoerd en de afvoer van fosfor wordt versneld en geoptimaliseerd door gericht kali en/of stikstof bij te mesten. Hiervoor is een productieve graszode of het inzaaien met een grasklaver-mengsel vereist (bij een grasklaver-mengsel is geen N-bemesting nodig omdat de klaver dit uit de lucht fixeert). Deze vorm van beheer laat in principe weinig ruimte voor andere soorten en het nemen van vernattingsmaatregelen is niet gewenst omdat er van vroeg in het voorjaar tot laat in het najaar machines op het perceel moeten kunnen om te maaien. Voor een praktisch uitmijnadvies (bekalkings- en/of bemestingsadvies, zodebeoordeling en advies raskeuzes bij inzaaien) zijn aanvullende analyses nodig die meer 'landbouw-gericht' zijn. Onderzoekcentrum B-WARE kan in samenwerking met het Louis Bolk Instituut een dergelijk advies opstellen voor percelen die in aanmerking komen voor een uitmijnbeheer. Dit zijn bijvoorbeeld de locaties 10 t/m 17 en 23 t/m 26 waar circa 10-15 jaar uitmijnen nodig is voor hoogwaardige natuurontwikkeling en enkele jaren uitmijnen (4-5 jaar) mogelijk kan bijdragen aan het vergroten van de kruidenrijkdom doordat de P-concentraties in enkele jaren worden verlaagd. Na het realiseren van de gewenste verschraling zijn vaak nog maatregelen nodig om de soortenarme zode om te vormen tot voornamelijk de hoogwaardige natuurtypen.

Tabel 8. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties in het deelgebied Beakendyk. Voor de uitleg van de parameters en de gebruikte kleurarceringen zie Tabel 3.

Cluster	Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	OLS-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	P-ox	FVG	M3	M5	M12	
1BD	1	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	12	21	0,8	1299	12,3	115	35	62	8	23	18	143	12396	240	4820	5,0	97	4	2947	309	285	23	58	47	6	
	2	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	21	34	0,7	849	13,7	160	71	96	14	45	25	125	19419	78	7794	4,9	99	3	3138	58	359	21	55	35	0	
		20-30	veen, sterk veraard, bv	AP	54	45	0,4	563	7,2	51	49	26	3	15	21	79	17935	117	8020	4,9	99	2	2369	95	214	9	11	3	0	
	3	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	26	31	0,6	471	10,4	78	65	56	4	20	19	40	17816	92	6103	5,1	100	3	623	65	306	12	24	0	0	
2BD	4	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	14	0,9	1036	12,0	123	28	54	6	19	6	50	10079	76	2835	5,3	99	2	333	77	370	26	53	39	0	
	5	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	17	0,8	878	11,4	104	28	41	4	12	8	74	10723	83	3251	5,2	99	2	375	123	361	27	47	31	0	
		20-35	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	18	0,8	465	9,0	122	38	39	4	12	8	55	14895	67	4854	5,3	99	3	509	100	270	17	15	0	0	
	6	0-20	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	17	30	0,6	489	15,5	121	51	33	4	15	17	45	10827	93	2854	5,1	99	1	172	59	491	24	37	0	0	
	7	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	21	0,8	166	3,6	58	24	22	3	11	10	88	9084	67	3597	5,0	98	2	126	98	84	15	0	0	0	
	8	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	18	0,8	499	9,7	78	33	41	5	15	11	73	10786	134	3414	5,3	99	5	434	114	156	22	24	0	0	
		20-30	zand, zwak siltig, omgewerkt	BC	4	16	1,1	468	9,4	108	36	54	7	23	10	54	5540	147	2231	5,1	98	3	92	44	63	17	11	0	0	
	9	0-20	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	9	19	0,9	1841	21,7	95	49	51	4	14	8	51	12105	178	3507	5,2	99	5	344	109	423	32	114	99	47	
	3BD	10	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	13	23	0,7	1022	10,8	88	56	45	5	19	14	36	14421	210	5319	5,2	99	9	1058	66	284	23	48	35	0
		20-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	20	29	0,6	885	11,8	83	74	54	5	22	16	36	15897	96	5044	5,4	99	5	682	68	387	24	24	16	0	
		30-40	veen, sterk veraard	O	17	31	0,6	1020	11,1	95	76	55	5	23	15	44	16346	75	5052	5,2	99	4	545	48	359	20	24	18	0	
11		0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	14	25	0,7	1876	19,0	103	55	63	5	20	14	49	13862	71	3417	5,4	99	6	464	98	588	32	100	87	43	
		20-35	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	15	26	0,6	1593	17,0	101	63	62	5	20	14	27	14047	89	3727	5,2	99	5	399	100	494	26	65	55	20	
12		0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	11	21	0,7	1614	12,7	81	35	36	4	14	10	42	10287	131	3319	5,1	97	5	653	539	371	26	60	55	20	
		20-40	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	19	0,8	1501	12,6	92	43	43	4	15	8	36	11056	98	3182	5,4	98	4	360	413	441	30	60	52	16	
		40-50	zand, matig siltig, omgewerkt	AB	7	16	0,8	725	7,5	91	37	32	3	14	6	28	10351	85	3144	5,3	99	2	191	58	168	14	14	7	0	
		50-60	zand, matig siltig, inspoelingshorizont	B	2	11	1,2	609	2,5	82	17	13	4	9	3	40	6677	147	2279	5,6	99	2	135	119	38	9	0	0	0	
13		0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	17	0,8	1776	11,3	97	23	27	5	12	9	51	7995	114	2133	5,1	98	5	338	102	318	33	52	51	23	
		20-35	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	14	0,9	2297	12,9	122	32	31	7	15	7	38	9553	125	2966	5,4	99	3	209	74	350	37	46	46	29	
		35-45	zand, sterk siltig, omgewerkt	AB	5	13	0,9	1897	11,5	113	21	27	5	14	6	28	7803	166	3200	5,2	99	3	170	61	223	26	27	26	13	
14		0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	13	23	0,8	2116	14,7	94	53	40	9	20	16	42	14380	1371	5939	5,4	99	10	1154	247	386	33	73	70	40	
		15-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	11	22	0,8	1526	14,5	108	48	58	6	22	12	33	15226	71	4548	5,2	99	3	448	93	417	27	54	46	14	
		15-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	10	21	0,7	1291	14,4	117	51	62	6	23	11	28	14516	71	4299	5,4	99	5	368	80	423	26	52	41	5	
		16-20	zand, matig siltig, sterk humeus, bv	AP	16	26	0,6	1157	10,0	56	44	23	3	14	12	35	12845	75	4646	5,1	98	5	719	407		224	20	44	35	0
		20-35	zand, matig siltig, sterk humeus, bv	AP	16	25	0,6	912	10,5	79	52	39	4	19	10	26	15304	54	5493	5,4	99	3	371	98		265	16	33	22	0
17	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	17	0,8	1877	11,6	65	28	18	3	12	11	48	10162	104	4917	5,1	99	10	165	120	294	30	40	40	20		
4BD	18	0-20	veen, matig kleiig, sterk veraard, bv	AP	15	28	0,7	1263	18,2	166	65	91	12	36	13	39	20168	72	3657	5,2	99	4	905	183		546	28	87	69	6
		20-35	veen, matig kleiig, sterk veraard, bv	AP	14	28	0,7	407	18,5	180	71	110	13	38	13	44	20681	52	2917	5,1	99	3	627	63		522	25	23	0	0
		35-45	veen, veraard	O	53	65	0,2	134	4,1	37	71	31	2	9	20	49	18805	38	3096	5,1	99	3	780	145	212	7	0	0	0	
	19	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	12	0,8	2038	10,4	105	22	29	6	13	5	21	8601	297	1478	5,1	99	7	253	73	296	39	46	46	27	
		30-40	keileem, sterk zandig, omgewerkt	BC	2	10	1,1	320	2,2	421	15	104	29	44	1	2297	11182	162	2628	4,1	79	1	98	39	63	6	0	0	0	
	20	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	12	22	0,8	1272	16,2	154	61	85	12	34	11	30	17284	82	3182	5,0	99	3	736	233	427	30	58	46	4	
		15-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	12	23	0,7	625	11,2	126	60	67	9	26	8	40	18642	59	2069	5,0	99	2	239	69	363	22	27	11	0	
	21	0-20	veen, sterk zandig, bv	AP	24	36	0,5	706	13,3	128	65	75	9	24	17	46	19802	47	2697	5,0	99	2	418	97	457	20	48	24	0	
		20-30	veen, sterk zandig, bv	AP	26	45	0,4	394	8,5	108	73	59	5	15	23	73	19707	53	2445	4,9	99	2	227	138	385	13	6	0	0	
	22	0-20	veen, zwak kleiig, bv	AP	15	31	0,6	916	15,5	145	61	81	10	26	15	71	20332	41	1772	5,0	99	2	377	66	423	17	65	44	0	

Cluster 1BD (locaties 1, 2 en 3)



Figuur 34. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 1 (links) en 2 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-30/35 cm-mv) in cluster 1BD bestaat uit matig humeus zand tot sterk veraard veen. Op locatie 1 is alleen veen aangetroffen dieper in de bodem (50-90 cm-mv), dit is afgedekt met zand. Op locatie 3 bestaat de toplaag (0-35 cm-mv) uit veen en op locatie 2 is een veenpakket van 95 cm aangetroffen. Op alle locaties is diep in de bodem zand aangetroffen. De GLG is 120-130 cm-mv en de GHG 70 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn matig calciumhoudend en sterk ijzerhoudend (Fe-t: 26-96 mmol/l; Ca-t: 35-71 mmol/l; Ca-z: $\pm 12.400-19.400 \mu\text{mol/l}$).

De bodem op locatie 1 is matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1299 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 12,3 mmol/l). De fosfaatconcentraties passen bij de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland. De bodems op de andere locaties zijn slechts licht verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 471-849 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 7,2-13,7 mmol/l). Op locatie 2 en 3 is de ontwikkeling van een blauwgrasland mogelijk op basis van de buffering. Echter de fosfaatconcentraties op locatie 2 zijn nog te hoog voor deze ontwikkeling, door middel van circa 38 jaar maaien en afvoeren kunnen deze voldoende verlaagd worden. Ondanks dat de fosfaatconcentraties op locatie 1 en 3 nagenoeg voldoende laag zijn voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland of blauwgrasland wordt er toch aangeraden om enkele jaren een verschrallingsbeheer uit te voeren. Door te verschrallen kunnen de zeer hoge nitraatconcentraties (623-3138 $\mu\text{mol/l NO}_3^-$) worden verlaagd, dit bevordert te soortenrijkdom. Door na het realiseren van de beoogde verschralling de zode van de huidige toplaag te verwijderen (5 cm) en maaisel van een goed ontwikkeld referentiegebied op te brengen wordt de gewenste ontwikkeling gestimuleerd.

In dit deelgebied is alleen de bouwvoor geanalyseerd, het is hierdoor niet bekend of het verwijderen van de bouwvoor (20-30 cm) de gewenste ontwikkeling meteen mogelijk maakt. De afname van de fosfaatconcentraties op locatie 2 (veenbodem) geven wel een positief beeld.

Advies toplaag: circa 14 jaar maaien en afvoeren en zode verwijderen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 2 en 3) of soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland (locatie 1).

Advies ontgronding: Mogelijkheden na afgraven van de bouwvoor zijn niet voor het gehele cluster bekend. Op locatie 2 volstaat (20)-30? cm afgraven voor de ontwikkeling van blauwgrasland. Op locatie 3 volstaat het verwijderen van de zode. Op de locaties 1 en 2 worden aanvullende analyses geadviseerd om deze potenties in kaart te brengen. Wellicht kan door middel van een zeer beperkte ontgronding nat schraalland worden ontwikkeld.

Cluster 2BD (locaties 4, 5, 6, 7, 8 en 9)



Figuur 35. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 5 (links) en 8 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-20/35 cm-mv) in cluster 2BD bestaat uit matig siltig en humeus zand. De onderliggende bodem bestaat op alle locaties eveneens grotendeels uit zand. Op locatie 4 en 5 is dieper in de bodem (>70-75 cm-mv) ook leem aangetroffen en op locatie 8 (40-65 cm-mv) en 9 (20-35 cm-mv) veen. De GLG is 120 - >150 cm-mv en de GHG 40-90 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak-matig calciumhoudend en matig-sterk ijzerhoudend (Fe-t: 22-54 mmol/l; Ca-t: 24-51 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 5.600-14.900 μ mol/l).

De bodems op locatie 4, 5 en 9 zijn beperkt verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 647-1841 μ mol/l en P-t: 11,4-21,7 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties passen bij de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland. De bodems op de andere locaties zijn nauwelijks verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 166-499 μ mol/l en P-t: 3,6-15,5 mmol/l). Vanwege de lage fosfaatconcentraties (Olsen-P <500 μ mol/l) is de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 6) of heischraalgrasland (locatie 7 en 8) mogelijk op de huidige toplaag. Door op de locaties 6, 7 en 8 de zode van de huidige toplaag te verwijderen (5 cm; indien soortenarm) en maaisel van een goed ontwikkeld referentiegebied op te brengen wordt de gewenste ontwikkeling gestimuleerd.

Op de verrijkte locaties 4, 5 en 9 is de buffering van de bodem geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland/ heischraalgrasland. Echter, hiervoor is een verschrallingsbeheer van minimaal 30 jaar maaien en afvoeren voor nodig. Afgraven lijkt een goede optie aangezien op locatie 5 de onderliggende bodemlaag (20-35 cm-mv) reeds voldoende fosfaatarm is voor de ontwikkeling van een blauwgrasland/heischraalgrasland. Voor locatie 4 en 9 is de fosfaatconcentratie onder de bouwvoor niet bekend. Aanvullende analyses zijn nodig om dit te bevestigen.

Advies toplaag: zode verwijderen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 6), heischraalgrasland (locatie 7 en 8) of verschrallingsbeheer voortzetten voor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland (locatie 4, 5 en 9).

Advies ontgronding: 20 cm afgraven op locatie 5 t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland/heischraalgrasland. Voor locatie 4 en 9 zijn aanvullende analyses nodig. Wellicht kan door middel van een zeer beperkte ontgronding nat schraalland worden ontwikkeld.

Cluster 3BD (locaties 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 en 17)



Figuur 36. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 10 (links) en 13 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-30/45 cm-mv) in cluster 3BD bestaat uit matig siltig en humeus zand. De bodem op alle locaties bestaat grotendeels uit zand. Op locatie 10 (30-50 cm-mv), 14 (30-40 cm-mv) en 16 (35-45 cm-mv) is onder de bouwvoor ook een dunne veenlaag aangetroffen. De GLG is 130 - >150 cm-mv en de GHG 70- >150 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak-matig calciumhoudend en matig-sterk ijzerhoudend (Fe-t: 13-62 mmol/l; Ca-t: 17-76 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 6.700-16.400 μ mol/l).

Op alle locaties in cluster 3BD is de toplaag verrijkt met fosfaat. De toplaag op locatie 11, 12, 13, 14, 15 en 17 is sterk verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1614-2116 μ mol/l en P-t: 11,3-19,0 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor de ontwikkeling van een (optimaal) soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland, hiervoor is aanvullend verschrallingsbeheer van 20-40 jaar nodig. Zodra de labiel-P en nitraatconcentraties verder afnemen zal de soortenrijkdom naar verwachting toenemen. Op deze locaties is de toplaag van de bodem ook relatief verzadigd met fosfaat (26-37 %). De bodems op de andere locaties (locatie 10 en 16) zijn minder verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1022-1157 μ mol/l en P-t: 10,0-10,8 mmol/l). Vanwege de lagere fosfaatconcentraties biedt dit wel kansen voor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland.

Op alle locaties is een fors verschrallingsbeheer of een ontgroning nodig om de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetaties mogelijk te maken (circa 40-80 jaar maaien en afvoeren of 10-20 jaar uitmijnen). De buffering van de bodems is geschikt voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (locatie 12 50-60 cm-mv en locatie 13) of blauwgrasland (overige locaties). Afgraven is mogelijk een optie aangezien op locatie 12 de bodem onder de verstoorde bodemlagen (AP-AB) (50-60 cm-mv) voldoende fosfaatarm is voor de ontwikkeling van een blauwgrasland. Op locatie 10 en 13 zijn ook analyses onder de bouwvoor uitgevoerd, dit betreft echter nog steeds een verstoorde bodemlaag (AB) die voedselrijk is, waardoor dit geen verbetering oplevert. Dit lijkt aan te duiden dat alle verstoorde bodemlagen verwijderd dienen te worden (AP en AB). De ontgrondingsdiepte zal op de overige locaties naar verwachting 30-45 cm-mv bedragen. Aanvullende analyses zijn nodig om dit te bevestigen.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland.

Advies ontgroning: op locatie 12 dient 40 (inclusief aanvullend verschrallingsbeheer) of 50 cm te worden afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland. Het lijkt erop dat alle verstoorde bodemlagen verwijderd dienen te worden (AP en AB), aanvullende analyses zijn nodig

om dit te bevestigen. Op basis van de forse diepte van het fosfaatfront op locatie 12 en de dikte van de AP/AB-horizont in dit cluster lijkt het beter om op de locaties 10-17 in te zetten op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland. Een dergelijke ontgroning lijkt namelijk niet gewenst. Elders in het gebied liggen kansrijkere zones waar minder forse maatregelen volstaan.

Cluster 4BD (locaties 18, 19, 20, 21 en 22)



Figuur 37. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 19 (links) en 21 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-30/45 cm-mv) in cluster 4BD bestaat uit veen (locatie 18, 21 en 22) of uit zand (locatie 19 en 20). De bodem op locatie 18 bestaat volledig uit veen. Op de locaties 21 (0-30 cm-mv) en 22 (0-65 cm-mv) is het veenpakket minder dik. Op locatie 19 is van 30 tot 80 cm-mv zandig leem aangetroffen. Dieper werd niet geboord in verband met het 'stuiten op massief steen'. Bij de overige locaties is zand in de bodem tot 150 cm-mv aangetroffen. De GLG is 90- >150 cm-mv en de GHG is 30- >150 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. Locatie 19 en 20 zijn hoger gelegen en daardoor droger (en zonder veen in het profiel). De geanalyseerde bodems zijn overwegend matig calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 29-104 mmol/l; Ca-t: 15-73 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 8.600-20.700 μ mol/l).

De toplaag op locatie 18, 19 en 20 zijn matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1263-2038 μ mol/l en P-t: 10,4-18,2 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor de ontwikkeling van een optimaal soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland, hiervoor is aanvullend verschrallingsbeheer van 4-27 jaar nodig. Op deze locaties is de bodem ook relatief verzadigd met fosfaat (28-39 %). De bodems op de andere locaties (locatie 20 en 21) zijn minder verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 706-916 μ mol/l en P-t: 13,3-15,5 mmol/l). Vanwege de lagere fosfaatconcentraties biedt dit kansen voor de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland.

Op alle locaties is een fors verschrallingsbeheer of een ontgroning nodig om fosfaatgelimiteerde vegetatie mogelijk te maken. De buffering van de bodems is geschikt voor de ontwikkeling van een heischraalgrasland (locatie 19) of blauwgrasland (overige locaties). Een beperkte afgraving is een goede optie aangezien op alle locaties waar diepere bodemanalyses werden uitgevoerd de fosfaatconcentraties sterk afnemen in de diepte. Op locatie 18, 19 en 21 is het al voldoende om (minimaal) alleen de toplaag (20 cm) te verwijderen om de ontwikkeling van een blauwgrasland of heischraalgrasland mogelijk te maken. Voor locatie 19, 20 en 22 zijn aanvullende analyses nodig om de benodigde ontgrondingsdiepte te bepalen.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland (locatie 20 en 21) of door middel van 4-27 jaar verschrallingsbeheer (locatie 18, 19 en 20).

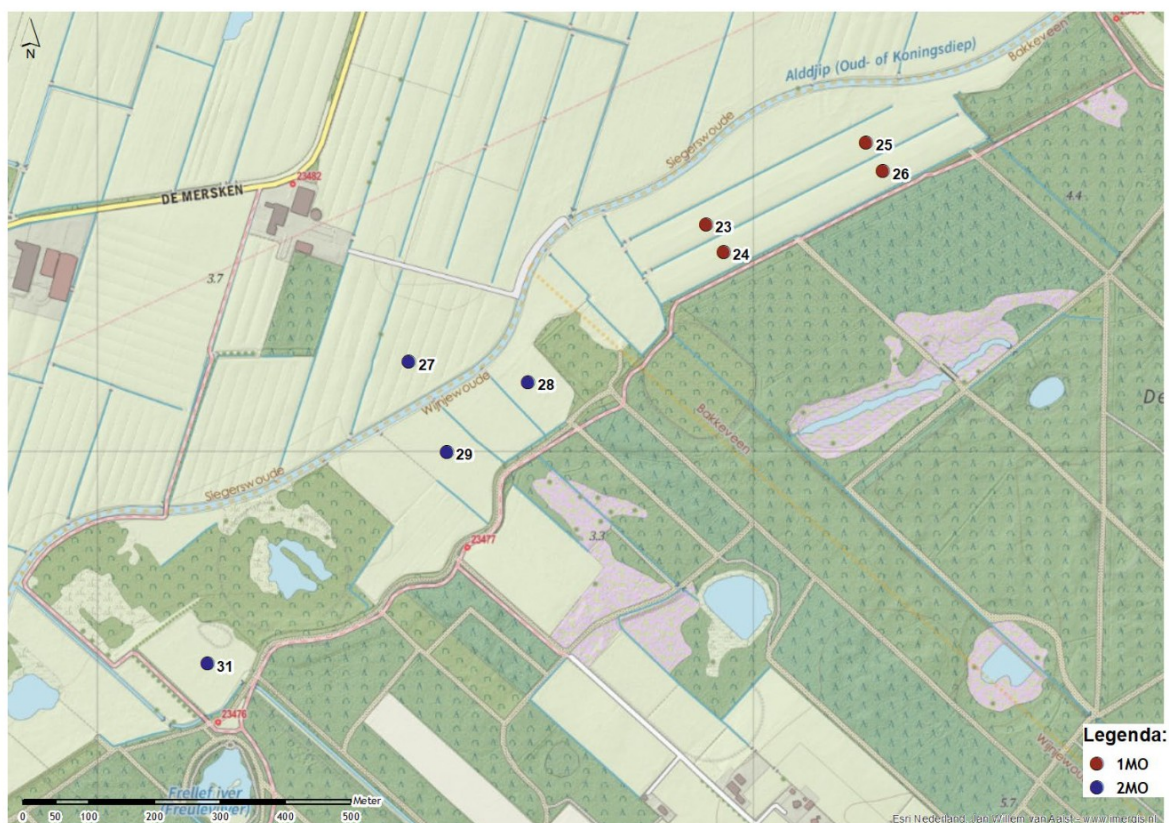
Advies ontgroning: 20 cm afgraven op locatie 18, 19 en 21 t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland of blauwgrasland. Het lijkt erop dat voornamelijk de toplaag verwijderd dient te worden (20 cm), aanvullende analyses zijn om de benodigde ontgrondingsdiepte te bepalen voor locatie 20 en 22. Wellicht kan door middel van een zeer beperkte ontgroning nat schraalland

worden ontwikkeld (vooral in de laagtes van locaties 18, 21 en 22). Ook op de flank (locatie 20) en de hogere kop in het landschap (locatie 19) liggen kansen voor de ontwikkeling van een interessante ecologische gradiënt.

Tabel 9. Overzichtstabel van de kansen door middel van verschravingsbeheer van de toplaag (hoge potentie = P-gelimiteerde natuurtypen; lage potentie = kruiden- en faunarijck grasland; Z = zode verwijderen; MA = jaren maaien en afvoeren; (+) = mogelijk langere verschravingsduur vereist omdat geen bodempakket van 20 cm is geanalyseerd) en ontgronding (? = mogelijk kansrijk op basis van het bodemprofiel: aanvullende analyses geadviseerd) in deelgebied Beakendyk. Mogelijke aanvullende analyses (relevante bodemlagen worden vermeld) en bijzonderheden worden eveneens vermeld. Gebruikte afkortingen: BV = bouwvoor dikte (cm); GHG en GLG = gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (afgeleid uit het bodemprofiel) in cm-mv; HSG = heischraalgrasland; BLG = blauwgrasland; KFG = kruiden- en faunarijckgrasland.

Cluster	Nr	BV	GLG	GHG	kansen verschravingbeheer		kansen ontgronding	aanvullende analyse	bijzonderheden
					hoge potentie	lage potentie			
1BD	1	35	130	70	47(+) jr MA BLG	KFG	-20? of -35?	20-35 en 35-45	nitraatrijk
	2	30	120	70	38 jr MA BLG	KFG	-20(+) of -30?	30-40	nitraatrijk
	3	35	120	70	Z BLG	-	Zode	-	nitraatrijk
2BD	4	35	150	80	39(+) jr MA BLG	KFG	-20? of -35?	20-35 en 35-45	
	5	35	130	70	31 jr MA BLG	KFG	-20 HSG/BLG	-	
	6	30	120	40	Z BLG	-	Zode	-	
	7	20	130	70	Z HSG	-	Zode	-	
	8	20	140	70	Z HSG	-	Zode	-	
	9	20	>150	90	99(+) jr MA BLG	KFG	-20? of -35?	20-35 en 35-45	
3BD	10	30	150	100	43 jr MA BLG	KFG	niet aanbevelen		nitraatrijk
	11	35	130	70	105 jr MA BLG	KFG	-35?	35-45	
	12	40	>150	100	68 jr MA BLG	KFG	-40+ of -50 cm HSG, verwijderen AP en AB		
	13	35	>150	>150	67 jr MA HSG	KFG	-45?	45-55	
	14	30	>150	80	70(+) jr MA BLG	KFG	-40?	40-50	nitraatrijk
	15	45	140	70	89 jr MA BLG	KFG	-30? of -45?	30-45 en 45-55	
	16	35	150	90	42 jr MA BLG	Z KFG	-45?	45-55	
	17	45	150	90	40(+) jr MA HSG/BLG	KFG	-30? of -45?	30-45 en 45-55	
4BD	18	35	90	30	69 jr MA BLG	6 jaar MA KFG	-20 of -35 BLG		nitraatrijk
	19	30	>150	>150	46 jr MA HSG	27 jaar MA KFG	-20? of -30 BLG	20-30	
	20	45	>150	110	50 jr MA BLG	4 jaar MA KFG	-15+ of -30? BLG	30-45	
	21	30	90	55	24 jr MA BLG	KFG	-20 of -30? BLG	30-45	
	22	30	150	90	44(+) jr MA BLG	KFG	-20? of -30?	20-30 en 30-40	

Deelgebied Mouneleane Oost



Figuur 38. Overzicht van de locatieclusters in deelgebied Mouneleane Oost op een topografische kaart.

Tabel 10. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties in Koningsdiep. Voor de uitleg van de parameters en de gebruikte kleurarceringen zie Tabel 3.

Cluster	Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	OLS-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	P-ox	FVG	M3	M5	M12
1MO	23	0-15	zand, matig siltig, sterk humeus, bv	AP	12	20	0,7	1721	13,4	63	29	49	3	12	10	75	10927	123	3482	4,8	99	6	421	122	444	25	49	45	19
	24	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	15	0,8	2258	11,5	67	18	28	3	8	7	60	7656	117	2620	4,8	98	6	556	83	358	31	40	40	25
		15-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	12	0,9	1444	7,9	79	20	26	3	8	5	58	8758	93	2346	4,9	99	4	181	75	336	28	23	23	6
	25	0-20	zand, matig siltig, sterk humeus, bv	AP	17	27	0,6	1349	15,1	50	37	47	3	10	14	53	12967	81	3984	4,9	99	7	1173	223	442	27	73	59	10
	26	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	14	0,8	921	6,7	55	20	21	3	9	7	25	7559	170	3775	5,3	99	6	422	125	192	27	23	19	0
		20-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	11	0,9	1163	7,6	67	24	26	4	11	8	55	8165	316	3869	5,3	99	4	506	86	208	27	14	14	0
2MO		30-40	zand, matig siltig en humeus	AB	8	16	0,8	1036	6,4	59	24	27	3	8	10	46	9527	641	3812	5,2	99	3	844	178	179	23	11	10	0
	27	0-20	veen, bv	AP	25	37	0,5	894	99,1	41	129	1840	2	16	19	7	20233	38	4882	5,6	100	2	2467	55	1228	14	412	273	0
		20-30	veen, sterk veraard	O	39	54	0,3	575	47,8	26	125	707	1	10	15	6	20700	51	3468	6,0	100	1	1514	0	1289	13	71	19	0
		30-40	veen, sterk veraard	O	57	75	0,2	538	33,0	63	148	376	0	13	17	3	25791	49	4046	6,0	100	1	1214	0	2628	21	46	7	0
	28	0-20	leem, uiterst zandig, bv	AP	5	17	1,0	751	11,2	109	26	161	3	10	8	55	9695	92	2378	5,1	99	1	1803	112	216	14	42	23	0
	29	0-20	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	17	28	0,6	963	16,7	56	52	213	3	11	15	27	12624	124	3280	5,4	99	2	1688	247	469	12	72	50	0
		20-30	veen, matig veraard	O	72	67	0,2	92	6,0	17	126	153	1	11	20	10	18969	71	3856	5,8	99	1	2145	249	183	2	0	0	0
	31	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	15	0,8	1284	6,6	38	12	20	3	6	7	40	5489	906	3130	5,2	99	8	191	51	79	26	17	17	2
		15-25	keizand, matig siltig, zwak grindig	BC	1	6	1,1	686	2,2	53	5	25	3	5	1	35	2933	1174	1479	5,2	99	2	41	0	41	23	0	0	0

Cluster 1MO (locaties 23, 24, 25 en 26)



Figuur 39. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 23 (links) en 25 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-30/45 cm-mv) in cluster 1MO bestaat uit matig siltig en humeus zand. De bodem op alle locaties bestaat grotendeels uit zand. Op locatie 25 (40-90 cm-mv) en 26 (80-120 cm-mv), in het oosten van het cluster, is een veenpakket van 40-50 cm in de bodem aangetroffen. De GLG is 130-140 cm-mv en de GHG 70-90 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een belangrijk aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak-matig calciumhoudend en zwak-matig ijzerhoudend (Fe-t: 21-47 mmol/l; Ca-t: 18-37 mmol/l; Ca-z: $\pm 7.600-13.000 \mu\text{mol/l}$).

De bodems in dit cluster zijn verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 921-2258 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 6,4-15,1 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetatie waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland op deze locaties logischer is. Op locatie 26 is er uitzicht op de ontwikkeling van een blauwgrasland na een verschrallingsbeheer van 30 jaar maaien en afvoeren.

Op de verrijkte locaties is de buffering van de bodem geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland/ heischraalgrasland. Echter hiervoor is een verschrallingsbeheer van 30 jaar tot minimaal 59 jaar maaien en afvoeren nodig (of 8-15 jaar uitmijnen). Afgraven lijkt geen optie aangezien de locaties met diepere analyses (locatie 24 en 26) een onvoldoende afname in de fosfaatconcentraties laten zien. Echter, om met zekerheid een uitspraak te kunnen doen over de potenties na een ontgroning van bijvoorbeeld 30 cm zijn enkele aanvullende analyses nodig.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland.

Advies ontgroning: de beperkte diepere metingen die werden uitgevoerd op locatie 24 en 26 bieden onvoldoende perspectief. Aanvullende analyses kunnen meer inzicht bieden.

Cluster 2MO (locaties 27, 28, 29 en 31)



Figuur 40. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 28 (links) en 29 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-15/30 cm-mv) in cluster 2MO bestaat uit veen (locatie 27), zandig leem (locatie 28) of zand (locatie 29 en 31). Op de lager gelegen locaties 27 (0-130 cm-mv) en 29 (20-80 cm-mv) is veen aangetroffen en op locatie 29 (140-150 cm-mv) en 31 (55-150 cm-mv) is zandig leem aangetroffen in het bodemprofiel. De GLG is 90-130 cm-mv en de GHG 40-60 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak tot matig-sterk calciumhoudend en zwak tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 20-1840 mmol/l; Ca-t: 5-148 mmol/l; Ca-z: $\pm 2.900-25.800 \mu\text{mol/l}$). De bodems op locatie 27, 28 en 29 zijn ook zeer rijk aan nitraat (1214-2467 $\mu\text{mol/l NO}_3^-$).

De toplagen in dit cluster zijn matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 751-1284 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 6,6-99,1 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor fosfaatgelimiteerde vegetatie waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland op deze locaties logischer is. Op locatie 31 is er uitzicht op de ontwikkeling van een heischraalgrasland op de toplaag na een verschrallingsbeheer van 17 jaar maaien en afvoeren. Op locatie 27 zijn zeer hoge ijzerconcentraties aangetroffen ($>500 \text{ mmol/l}$): dit past bij de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland. De aanwezige Olsen-P concentratie is aan de hoge kant voor een dotterbloemhooiland (894 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P; kruiden- en faunarijk grasland - rompgemeenschap vochtig hooiland). Als gevolg van de zeer hoge ijzerconcentraties en de daarmee gepaarde gaande hoge totaal-P concentraties geeft de berekende verschrallingsduur geen juist beeld. Het is ook mogelijk om door middel van 20 cm af te graven de fosfaatconcentraties te verlagen tot 575 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en zo de ontwikkeling van een dotterbloemhooilandontwikkeling mogelijk te maken.

Op de andere locaties is de buffering van de bodem geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland, heischraalgrasland of heide. Afgraven lijkt een goede optie omdat de bodem op 15/20 cm diepte op locatie 29 en 31 voldoende fosfaatarm is voor de gewenste ontwikkeling. Het is daardoor goed mogelijk dat dit ook voor locatie 28 geldt. Echter om hier meer zekerheid over te krijgen zijn aanvullende analyses nodig.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (locatie 27), kruiden- en faunarijkgasland (locatie 28 en 29) of 17 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een heide/ heischraalgrasland (locatie 31).

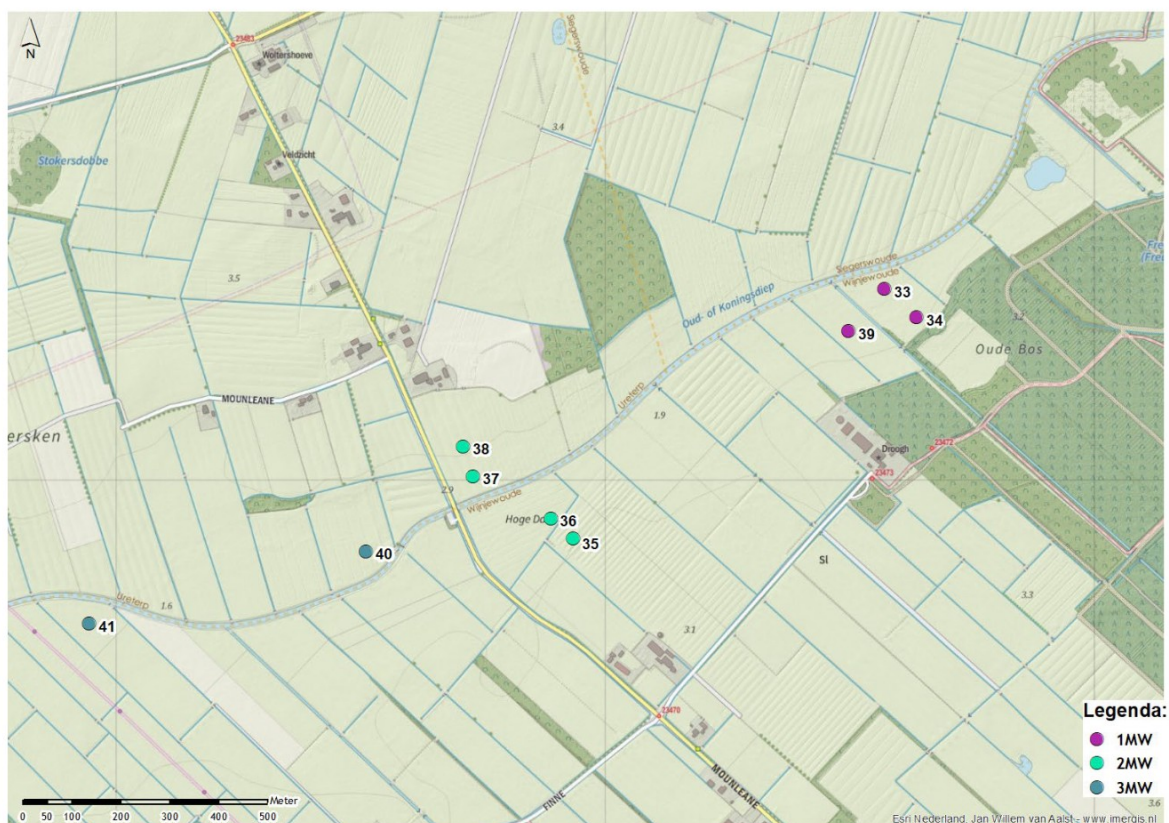
Advies ontgronding: locatie 24 en 26 laten een duidelijk positief beeld zien voor een beperkte ontgronding van circa 20 cm, echter enkele aanvullende analyses zijn nodig om dit te bevestigen. Waarschijnlijk kan door middel van een zeer beperkte ontgronding P-gelimiteerde, soortenrijke

.....
natuur worden ontwikkeld in dit cluster. Dit biedt kansen voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland, blauwgrasland en heide (locatie 31, inclusief een eenmalige bekalking met 2000 kg Dolokal/ha).

Tabel 11. Overzichtstabel van de kansen door middel van verschrallingsbeheer van de toplaag (hoge potentie = P-gelimiteerde natuurtypen; lage potentie = kruiden- en faunarijk grasland; Z = zode verwijderen; MA = jaren maaien en afvoeren; (+) = mogelijk langere verschrallingsduur vereist omdat geen bodempakket van 20 cm is geanalyseerd) en ontgronding (? = mogelijk kansrijk op basis van het bodemprofiel: aanvullende analyses geadviseerd) in deelgebied Mouneleane Oost. Mogelijke aanvullende analyses (relevante bodemlagen worden vermeld) en bijzonderheden worden eveneens vermeld. Gebruikte afkortingen: BV = bouwvoor dikte (cm); GHG en GLG = gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (afgeleid uit het bodemprofiel) in cm-mv; HEI = heide; HSG = heischraalgrasland; BLG = blauwgrasland; DBH = dotterbloemhooiland; KFG = kruiden- en faunarijkgrasland.

Cluster	Nr	BV	GLG	GHG	kansen verschrallingbeheer		kansen ontgronding	aanvullende analyse	bijzonderheden
					hoge potentie	lage potentie			
1MO	23	45	130	70	45(+) jr MA HSG	19 jaar MA KFG	-30? of -45?	30-45 en 45-55	
	24	45	140	90	55 jr MA HSG	29 jaar MA KFG	-30? of -45?	30-45 en 45-55	
	25	40	130	70	59(+) jr MA BLG	10 jaar MA KFG	-20? of -40?	20-40 en 40-50	
	26	30	130	70	30 jr MA HSG	KFG	-40?	40-50	
2MO	27	20	90	40	?	KFG/DBH	-20		ijzerrijk, nitraatrijk
	28	30	120	60	42(+) jr MA HSG	KFG	-20? of -30?	20-30 en 30-40	ijzerrijk, nitraatrijk
	29	20	100	30	50 jr MA BLG	KFG	-20 BLG/DBH		ijzerrijk, nitraatrijk
	31	15	130	55	17 jr MA HEI/HSG	KFG	-15 HEI/HSG		bekalkingsadvies

Deelgebied Mounleane West



Figuur 41. Overzicht van de locatieclusters in deelgebied Mounleane West op een topografische kaart.

Tabel 12. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties in Koningsdiep. Voor de uitleg van de parameters en de gebruikte kleurarceringen zie Tabel 3.

Cluster	Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	OLS-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	P-ox	FVG	M3	M5	M12
1MW	33	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	14	0,8	1906	14,8	63	16	88	3	8	7	54	6276	151	1960	5,0	98	6	173	45	384	31	74	68	34
	34	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv, afgegraven	AP	5	18	0,8	1132	8,0	61	13	29	4	8	7	89	6885	145	1497	4,8	96	6	443	193	126	29	31	28	0
		20-35	zand, sterk siltig, matig humeus, omgewerkt	AB	7	24	1,0	1328	12,3	103	29	55	3	8	11	69	11189	116	2336	5,2	99	4	271	43	337	28	44	36	6
	39	0-20	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	15	25	0,6	1138	18,9	102	43	167	3	13	15	26	12413	55	3524	5,3	99	2	490	73	726	18	87	66	0
2MW	35	0-20	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	12	26	0,7	955	15,9	112	58	138	4	18	14	12	13792	943	5063	5,5	98	3	1103	868	456	20	68	47	0
		20-40	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	12	29	0,7	772	14,0	156	85	188	3	20	14	9	17101	167	4655	6,0	100	2	500	11	510	20	54	31	0
		40-60	zand, sterk siltig, matig humeus, omgewerkt	AB	13	38	0,7	250	7,0	153	79	140	3	18	13	4	26084	416	4855	5,7	100	1	157	43	152	9	0	0	0
	36	0-10	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	17	1,0	395	5,2	62	37	47	4	18	7	10	18295	93	4731	5,9	100	5	301	132	100	18	4	0	0
	37	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	21	0,8	842	14,4	107	28	143	3	12	9	54	10799	83	2212	5,4	99	1	555	85	403	16	58	36	0
		20-30	zand, sterk siltig, zwak humeus, inspoeling	BC	2	13	1,1	510	6,8	96	20	77	4	13	3	27	7888	137	1531	5,7	99	1	120	29	93	15	9	0	0
		30-40	zand, zwak siltig, moedermateriaal	C	1	13	1,3	231	4,0	97	17	51	6	15	1	8	6373	277	1504	5,7	99	1	67	63	41	14	0	0	0
	38	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	21	0,8	1596	16,1	83	22	81	3	10	8	53	8250	73	2175	5,3	99	4	257	76	443	28	82	69	25
		20-30	zand, matig siltig, zwak humeus, omgewerkt	BC	2	13	1,1	627	6,2	104	15	61	4	11	2	23	6391	116	1381	5,4	99	2	73	42	126	14	10	4	0
3MW	40	0-20	veen, zwak kleiig, sterk veraard, bv	AP	61	68	0,2	127	9,3	73	138	87	1	7	29	16	19971	22	2257	5,6	100	2	511	119	916	9	0	0	0
	41	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	33	43	0,5	511	18,4	118	99	163	4	18	25	23	15086	1374	5218	5,6	100	2	1155	59	658	10	47	2	0

Cluster 1MW (locaties 33, 34 en 39)



Figuur 42. Impressie van de (landbouw)percelen in Koningsdiep op de locaties 34 (links) en 39 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-20/30 cm-mv) in cluster 1MW bestaat uit siltig en humeus zand. Op locatie 33 (20-75 cm-mv) en 39 (30-85 cm-mv) is een veenpakket onder de bouwvoor aangetroffen. De GLG 90-100 cm-mv en de GHG 20-40 cm-mv. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur in combinatie met beperkte hydrologische maatregelen. De geanalyseerde bodems zijn zwak-matig calciumhoudend en zwak tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 29-167 mmol/l; Ca-t: 13-43 mmol/l; Ca-z: $\pm 6.300-12.400 \mu\text{mol/l}$).

De toplagen van de bodems in dit cluster zijn verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1132-1906 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,0-18,9 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetaties waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland op deze locaties logischer is. De buffering van de bodem is geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland/ heischraalgrasland. Echter, hiervoor is een verschrallingsbeheer van meer dan 40 jaar maaien en afvoeren nodig.

Afgraven lijkt vooral een optie op de locaties 33 en 39. Op locatie 34 blijkt de bodem tot 35 cm-mv verrijkt met fosfaat. Om de ontgrondingsmogelijkheden in kaart te brengen zijn enkele aanvullende analyses nodig.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland.

Advies ontgroning: aanvullende analyses op locatie 33 en 39 kan duidelijk maken of zeer beperkte ontgroning kansen biedt voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijk natuur in dit cluster. Op locatie 34 (rietveld) is de bodem tot 35 cm-mv (matig) verrijkt met fosfaat waardoor een ontgroning hier minder perspectief biedt.

Cluster 2MW (locaties 35, 36, 37 en 38)



Figuur 43. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 36 (links) en 38 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-10/40 cm-mv) in cluster 2MW bestaat uit siltig en humeus zand. De bodem op de locaties bestaat voornamelijk uit zand, op locatie 36 is een groot veenpakket (100 cm dik) aangetroffen. De GLG is 100-130 cm-mv en de GHG 20-60 cm-mv. Dit biedt lokaal reeds perspectief voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur in combinatie met beperkte hydrologische maatregelen. De geanalyseerde bodems zijn zwak tot matig-sterk calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 47-188 mmol/l; Ca-t: 15-85 mmol/l; Ca-z: $\pm 6.400-26.100 \mu\text{mol/l}$). De mate van buffering is hoger aan de zuidzijde van de beek (locatie 35-36) in vergelijking met de noordzijde van de beek (locatie 37-38).

De toplagen op locatie 35, 37 en 38 zijn matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 842-1596 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 14,4-16,1 mmol/l). De toplaag op locatie 36 is niet verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 395 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 5,2 mmol/l) en hiermee geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland. Door de zode te verwijderen (5 cm; mits soortenarm) en het aanbrengen van maaisel uit een referentiegebied kan de ontwikkeling van een blauwgrasland gestimuleerd worden. Toch wordt er nog wel geadviseerd om de bodemlaag op 10-30 cm-mv te laten analyseren. Na verwijdering van de zode blijft slechts 5 cm van de geanalyseerde toplaag van 0-10 cm over, hierdoor is de onderliggende bodemlaag van groot belang voor de te ontwikkelen vegetatie. De fosfaatconcentraties op de andere locaties zijn te hoog voor de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetatie waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland op deze locaties logischer is.

Op locatie 35, 36, 37 en 38 is de buffering van de bodem geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland/ heischraalgrasland. Afgraven van 20 cm biedt reeds perspectief voor de beoogde ontwikkeling terwijl het afgraven van 30 cm mogelijk het meest optimaal is. Hier zijn echter enkele aanvullende analyses voor vereist (op locatie 38 en eventueel 36).

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 36) of kruiden- en faunarijkgasland (locatie 35, 37 en 38).

Advies ontgronding: na afgraving van 20-30 cm is de ontwikkeling van een blauwgrasland/heischraalgrasland mogelijk. Geadviseerd wordt om de bodemlaag 10-30 cm-mv van locatie 36 en 30-40 cm-mv van locatie 38 te laten analyseren. Een relatief beperkte ontgronding lijkt hiermee kansen te bieden voor de ontwikkeling van nat schraalland.

Cluster 3MW (locaties 40 en 41)



Figuur 44. Impressie van het landbouwperceel in Koningsdiep op de locatie 41. Foto: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-20 cm-mv) in cluster 3MW bestaat uit veen. Op locatie 40 is een zandpakket van 70 cm aangetroffen op 30-100 cm-mv waarna weer veen aanwezig is. Op locatie 41 is veen tot 90 cm-mv aanwezig, daarna is zand aangetroffen. De GLG is 80-90 cm-mv en de GHG 20-30 cm-mv. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur in combinatie met beperkte hydrologische omstandigheden. De geanalyseerde bodems zijn matig-sterk calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 87-163 mmol/l; Ca-t: 99-138 mmol/l; Ca-z: $\pm 15.100-20.000$ $\mu\text{mol/l}$).

De toplagen zijn niet verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 127-511 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 9,3-18,4 mmol/l). Hierdoor zijn de toplagen geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland na het verwijderen van de zode (5 cm) en het aanbrengen van maaisel uit een referentiegebied.

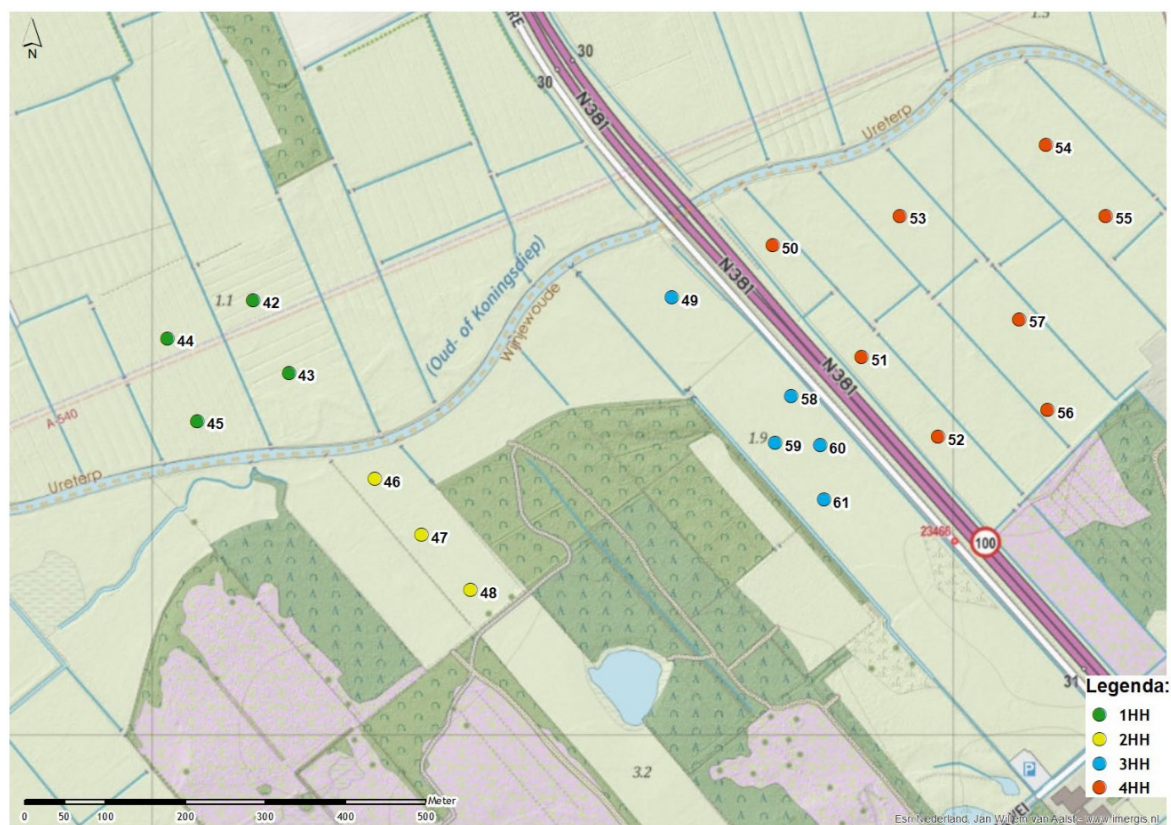
Advies toplaag: zode verwijderen en maaisel opbrengen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland.

Advies ontgronding: niet nodig (alleen plagen van de zode).

Tabel 13. Overzichtstabel van de kansen door middel van verschravingsbeheer van de toplaag (hoge potentie = P-gelimiteerde natuurtypen; lage potentie = kruiden- en faunarijk grasland; Z = zode verwijderen; MA = jaren maaien en afvoeren; (+) = mogelijk langere verschravingsduur vereist omdat geen bodempakket van 20 cm is geanalyseerd) en ontgronding (? = mogelijk kansrijk op basis van het bodemprofiel: aanvullende analyses geadviseerd) in deelgebied Mouneleane Oost. Mogelijke aanvullende analyses (relevante bodemlagen worden vermeld) en bijzonderheden worden eveneens vermeld. Gebruikte afkortingen: BV = bouwvoor dikte (cm); GHG en GLG = gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (afgeleid uit het bodemprofiel) in cm-mv; HSG = heischraalgrasland; BLG = blauwgrasland; KFG = kruiden- en faunarijkgrasland.

Cluster	Nr	BV	GLG	GHG	kansen verschravingbeheer		kansen ontgronding	aanvullende analyse	bijzonderheden
					hoge potentie	lage potentie			
1MW	33	20	90	20	74(+) jr MA HSG	34 jr MA KFG	-20? of -30?	20-30 en 30-40	
	34	20	90	20	46 jr MA HSG	KFG	-35?	35-50	
	39	30	100	40	66(+) jr MA BLG	KFG	-20? of -30?	20-30 en 30-40	
2MW	35	40	100	30	82 jr MA BLG	KFG	-40		nitraatrijk
	36	10	120	20	Z BLG	-	Zode	10-30 en 30-40	
	37	20	120	60	36 jr MA BLG	KFG	-20+ HSG of -30 HSG		
	38	20	130	60	87 jr MA HSG	25 jr MA KFG	-20+ HSG of -30?	30-40	
3MW	40	30	80	20	BLG	-	Zode		
	41	35	90	30	BLG	-	Zode	20-35	

Deelgebied Heidehuizen



Figuur 45. Overzicht van de locatieclusters in deelgebied Heidehuizen op een topografische kaart.

Tabel 14. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties in Koningsdiep. Voor de uitleg van de parameters en de gebruikte kleurarceringen zie Tabel 3.

Cluster	Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	OLS-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	P-ox	FVG	M3	M5	M12
1HH	42	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	59	59	0,3	252	13,5	116	135	184	2	11	30	18	20919	59	2584	5,6	100	2	818	143	667	6	0	0	0
		20-35	veen, sterk veraard, bv	AP	50	67	0,3	137	8,7	122	155	43	1	10	29	13	23439	85	2810	5,9	100	1	239	71	19	9	0	0	0
	43	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	49	53	0,3	393	21,2	135	89	245	3	11	26	16	15187	61	1975	5,4	99	2	647	159	1036	9	31	0	0
		20-35	veen, matig kleilig, sterk veraard	O	63	69	0,2	114	11,8	126	115	73	1	9	26	15	18434	50	2305	5,5	100	1	375	61	730	8	0	0	0
		35-50	veen, matig kleilig, sterk veraard	O	66	75	0,2	62	8,3	100	114	39	1	8	27	19	19340	55	2119	5,8	100	1	88	16	643	10	0	0	0
	44	0-15	zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	8	19	0,9	455	9,4	154	52	97	4	20	12	29	16550	99	4579	5,5	99	2	505	161	162	11	15	0	0
2HH		15-25	veen, sterk veraard	O	18	37	0,5	278	10,5	146	96	159	2	17	21	19	19672	60	4796	5,9	100	1	432	75	330	6	0	0	0
	45	0-20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	11	21	0,7	970	12,8	111	36	89	3	15	12	53	11427	63	3816	5,0	99	1	348	78	328	15	55	39	0
	46	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	15	33	0,6	593	20,9	214	63	131	2	11	14	33	13277	42	2910	5,5	99	1	383	80	794	16	64	20	0
	47	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	10	20	0,6	1212	22,0	82	29	261	2	7	10	46	8527	68	1878	5,0	98	2	330	262	712	18	103	81	1
		20-30	zand, zwak siltig, moedermateriaal	C	1	5	1,2	492	3,8	34	5	54	1	4	1	14	2805	139	964	5,6	99	1	40	43	42	11	3	0	0
	48	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	19	0,7	1485	21,5	63	29	161	2	5	8	29	7170	67	1256	5,1	99	2	131	100	417	20	107	89	26
3HH		20-30	inspoeling	BC	1	7	1,3	147	1,4	67	8	56	4	9	0	7	4860	146	1621	5,7	99	1	69	34	19	7	0	0	0
	49	0-20	veen, sterk veraard, bv	AP	39	56	0,3	440	22,4	154	70	351	3	9	24	38	14703	22	1142	4,9	99	1	703	129	980	9	45	0	0
	58	0-15	zand, matig siltig en humeus, afgegraven bv	AP	2	11	1,3	1256	6,9	84	10	42	3	7	3	256	6532	156	494	4,9	94	4	6	58	130	24	18	18	1
		15-25	zand, zwak siltig en humeus, inspoeling	BC	1	8	1,5	311	2,8	102	8	36	5	11	0	167	4677	159	547	5,2	95	1	1	27	28	11	0	0	0
	59	0-5	veen, sterk zandig, zode	AP	13	43	0,7	431	7,8	74	65	67	6	12	12	12	22504	106	2052	5,8	100	3	7	90	98	9	4	0	0
		5-15	zand, matig siltig, moedermateriaal	C	1	12	1,6	20	3,2	123	32	75	11	32	0	16	13503	137	1130	6,1	100	1	2	28	7	7	0	0	0
4HH		15-25	zand, matig siltig, moedermateriaal	C	1	12	1,7	7	5,2	245	64	142	27	80	0	30	31121	154	2693	6,2	100	0	13	57	19	6	0	0	0
		25-35	keileem, sterk zandig, moedermateriaal	C	2	12	1,8	8	7,8	455	89	236	59	134	3	11	36498	235	3279	6,1	100	0	8	23	24	6	0	0	0
	60	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	18	1,0	608	9,2	150	27	153	4	12	10	156	10351	142	2496	5,0	95	1	11	802	108	6	22	8	0
		15-25	zand, zwak siltig en humeus, omgewerkt	BC	1	10	1,4	125	3,6	148	22	88	4	17	2	54	11174	115	4668	5,5	99	0	11	63	23	6	0	0	0
		20-30	zand, zwak siltig en humeus, afgegraven bv	AP	1	9	1,4	45	2,0	93	20	69	6	17	0	45	12556	94	1644	6,2	99	2	7	45	10	5	0	0	0
		10-20	zand, zwak siltig, moedermateriaal	C	0	9	1,5	11	1,3	94	18	75	8	19	0	3	13389	127	1405	6,2	100	0	3	26	6	4	0	0	0
5HH	50	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	10	23	0,7	1822	29,9	130	33	167	4	13	11	50	11717	214	2961	4,9	99	5	1055	103	1233	33	156	136	64
		20-30	veen, sterk veraard	O	27	48	0,4	1084	138,2	207	98	549	4	17	17	11	19429	201	4523	5,5	100	1	1180	58	6044	41	312	233	0
	51	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	10	1,1	1133	11,2	82	14	72	3	8	5	136	7218	162	2008	4,8	96	8	139	99	356	39	51	39	0
		20-30	zand, zwak siltig, moedermateriaal	C	1	9	1,2	1212	7,6	98	11	42	5	12	2	111	4455	191	1576	5,2	96	7	56	38	71	36	14	14	0
	52	0-20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	15	0,8	413	10,9	186	41	218	4	17	9	73	14945	70	2844	4,9	99	2	164	59	333	11	19	0	0
		20-30	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	14	0,8	367	8,0	178	37	147	5	21	5	29	14510	62	3215	5,2	100	1	59	34	144	8	5	0	0
6HH	53	0-20	zand, matig siltig, sterk humeus, bv	AP	14	20	0,6	1459	21,9	98	29	140	4	12	12	47	11545	212	3280	4,9	99	3	612	180	913	23	109	90	24
		20-30	zand, matig siltig, zwak humeus, afgegraven bv	AP	4	8	0,9	636	6,3	80	8	34	4	10	4	87	4407	176	1786	5,1	96	3	352	151	139	19	21	8	0
		20-30	zand, zwak siltig, moedermateriaal	C	1	8	1,1	687	5,5	122	6	42	6	13	1	52	3334	252	1046	5,1	95	2	127	228	101	13	8	5	0
	55	0-15	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	15	0,9	640	8,1	109	14	49	5	12	5	73	9613	174	1921	5,1	96	3	1150	781	360	16	20	8	0
		15-30	veen, matig kleilig, veraard	O	49	58	0,3	222	15,6	136	83	261	1	10	20	13	19314	58	3979	5,4	100	2	660	62	792	9	0	0	0
	56	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	21	0,9	843	12,0	66	22	31	4	12	12	60	9395	438	3891	5,0	98	11	361	154	171	34	48	30	0
7HH		20-35	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	13	31	0,7	709	20,0	95	76	238	2	12	19	66	16127	210	3665	5,5	99	4	373	107	504	15	54	28	0
		35-45	veen, matig veraard	O	72	72	0,3	150	12,3	100	132	107	1	9	31	17	27909	124	4275	5,5	100	1	404	97	471	3	0	0	0
	57	0-20	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	13	22	0,7	1320	18,1	93	37	88	7	14	16	57	12211	3631	4140	5,2	99	7	514	160	451	24	87	70	10
		20-30	zand, matig siltig en humeus, bv	AP	11	24	0,9	796	14,5	170	71	178	7	20	18	38	19971	2091	6091	5,6	99	4	692	238	314	14	28	17	0
		30-40	zand, matig siltig, moedermateriaal	C	1	12	1,5	156	3,3	98	22	51	7	18	2	14	10568	987	2553	6,1	100	3	170	61	27	9	0	0	0

Cluster 1HH (locaties 42, 43, 44 en 45)



Figuur 46. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 42 (links) en 45 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-15/35 cm-mv) in cluster 1HH bestaat uit veen (locatie 42 en 43) of zand (locatie 44 en 45). Op alle locaties is dieper in de bodem zand aangetroffen. Op de locaties 42 (0-35 cm-mv), 43 (0-90 cm-mv) en 44 (15-35 cm-mv) zaten veenlagen in het profiel. De GLG is 80-130 cm-mv en de GHG 30-70 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn matig-sterk calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 39-245 mmol/l; Ca-t: 36-155 mmol/l; Ca-z: $\pm 11.400-23.400 \mu\text{mol/l}$).

De toplagen op locatie 42, 43 en 44 zijn fosfaatarm (Olsen-P: 252-455 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 9,4-21,2 mmol/l) en hiermee geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland. Door de zode te verwijderen (5 cm; mits soortenarm) en het aanbrengen van maaisel uit een referentiegebied kan de ontwikkeling van een blauwgrasland gestimuleerd worden. Op locatie 45 is de toplaag matig verrijkt (Olsen-P: 970 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 12,8 mmol/l). Hierdoor is de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgasland op deze locatie meer voor de hand liggend. Aanvullende analyses dienen uit te wijzen of een beperkte ontgronding voldoende is voor de ontwikkeling van nat schraalland.

Advies toplaag: zode verwijderen maaisel opbrengen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 42, 43 en 44) of door middel van maaien en afvoeren een kruiden- en faunarijkgasland ontwikkelen (locatie 45).

Advies ontgronding: een beperkte ontgronding kan een goede optie zijn voor locatie 45 (en eventueel ook 44), echter aanvullende analyses zijn nodig om dit te bevestigen. Op de locaties 42 en 43 volstaat het plagen van de zode (mits soortenarm).

Cluster 2HH (locaties 46, 47 en 48)



Figuur 47. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 46 (links) en 48 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-20/35 cm-mv) in cluster 2HH bestaat uit siltig en humeus zand. De onderliggende bodem bestaat voornamelijk uit zand. Op alle drie de locaties is ook een zandige leembodem aangetroffen op 40-75 (locatie 48), 75-150 (locatie 47) en 125-150 cm-mv (locatie 46). De diepte waarop het zandig leem werd aangetroffen nam toe richting de beek. De GLG is 100-140 cm-mv en de GHG 30-50 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak tot matig calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 54-261 mmol/l; Ca-t: 5-29 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 2.800-13.300 μ mol/l). De calcium- en ijzerconcentraties nemen sterk af onder de toplaag op de locaties 47 en 48.

De toplagen zijn verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 593-1485 μ mol/l en P-t: 20,9-22,0 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor fosfaatgelimiteerde vegetatie waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland op deze locaties logischer is. Op locatie 46 is na maximaal 20 jaar maaien en afvoeren de ontwikkeling van een blauwgrasland mogelijk.

Onder de toplaag is de buffering van de bodem geschikt voor de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland. Afgraven is een goede optie in dit cluster omdat de bodem onder de bouwvoor (20 cm) op locatie 47 en 48 voldoende fosfaatarm is voor de gewenste ontwikkeling. Vermoedelijk geldt dit ook voor locatie 46, aanvullende analyses zijn echter nodig om dit te bevestigen.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland (langs de beek op locatie 46 liggen op termijn potenties voor blauwgrasland).

Advies ontgronding: na afgraving van 20 cm is de ontwikkeling van een heide(/heischraalgrasland) mogelijk op locatie 47 en 48. Vermoedelijk geldt dit ook voor locatie 46, echter aanvullende analyses zijn nodig om dit te bevestigen en om de natuurpotenties vast te kunnen stellen. In verband met de lage calciumconcentraties op locatie 47 en 48 wordt een eenmalige bekalking met 2000 kg Dolokal/ha geadviseerd.

Cluster 3HH (locaties 49, 58, 59, 60 en 61)



Figuur 48. Impressie van de (voormalige) landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 58 (links) en 59 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-5/20 cm-mv) in cluster 3HH bestaat uit veen (locatie 49; op locatie 59 werd 5 cm veen aangetroffen) of zand (locatie 58, 60 en 61). Op locatie 49 is alleen maar veen aangetroffen tot 150 cm-mv. Op de andere locaties is dieper in het profiel overal zandig leem aangetroffen (vanaf 25 tot 110 cm-mv begint het zandige leempakket). Dit komt lokaal zeer dicht aan het oppervlak en dit is gunstig voor blauwgrasland ontwikkeling. De GLG is 70-110 cm-mv en de GHG 10-30 cm-mv. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen. De geanalyseerde bodems zijn zwak tot matig calciumhoudend en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 36-351 mmol/l; Ca-t: 8-89 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 4.700-36.500 μ mol/l).

De toplagen op locatie 49, 59, 60 en 61 zijn relatief fosfaatarm (Olsen-P: 45-608 μ mol/l en P-t: 2,0-22,4 mmol/l). Hierdoor zijn de toplagen geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland na het verwijderen van de zode (5 cm) en het aanbrengen van maaisel uit een referentiegebied. Op locatie 60 is beperkt aanvullend verschrallingsbeheer vereist (5-10 jaar). Op de locaties 59 en 60 kunnen de bodemchemische condities door middel van 15 cm afgraven worden geoptimaliseerd voor blauwgraslandontwikkeling.

Op locatie 58 is de toplaag matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 1256 μ mol/l en P-t: 6,9 mmol/l). Hierdoor is de ontwikkeling van een soortenrijk kruiden- en faunarijkgrasland op deze locatie meer voor de hand liggend. Na 15 cm afgraven of 18 jaar maaien en afvoeren is de ontwikkeling van een heischraalgrasland op deze locatie mogelijk.

Advies toplaag: zode verwijderen en maaisel opbrengen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 49, 59, 60 (met beperkt aanvullend beheer) en 61) of door middel van maaien en afvoeren een kruiden- en faunarijkgrasland (locatie 58) ontwikkelen. Na 18 jaar maaien en afvoeren is op locatie 58 de ontwikkeling van een heischraalgrasland mogelijk.

Advies ontgroning: 15 cm afgraven op locatie 58 t.b.v. de ontwikkeling van een heischraalgrasland. Op de overige locaties volstaat het plaggen van de zode (5 cm), mits soortenarm. Op de locaties 59 en 60 kunnen de bodemchemische condities door middel van 15 cm afgraven worden geoptimaliseerd voor blauwgraslandontwikkeling.

Cluster 4HH (locaties 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 en 57)



Figuur 49. Impressie van de landbouwpercelen in Koningsdiep op de locaties 54 (links) en 57 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

De bouwvoor (0-15/35 cm-mv) in cluster 4HH bestaat uit zand. Op locaties 50 (30-125 cm-mv), 53 (30-105 cm-mv), 54 (65-125 cm-mv), 55 (15-82 cm-mv) en 56 (35-85 cm-mv) is een veenpakket aangetroffen. Op 110/115 cm-mv is op locaties 55, 56, 57 en 58 een zandige leemlaag aangetroffen, op locatie 52 is de leemlaag al aanwezig op 45 cm-mv. De GLG is overwegend 80-110 cm-mv en de GHG overwegend 20-50 cm-mv. De hydrologische condities vormen hiermee een aandachtspunt bij de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur. De geanalyseerde bodems zijn zwak tot matig-sterk calciumhoudend en zwak tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 31-549 mmol/l; Ca-t: 6-132 mmol/l; Ca-z: $\pm$ 3.300-27.900 μ mol/l). De bodems op locatie 50 en 55 zijn ook zeer rijk aan nitraat (1055-1180 μ mol/l NO_3^-).

Het merendeel van de toplagen (uitgezonderd locatie 52) in dit cluster zijn beperkt tot matig verrijkt met fosfaat (Olsen-P: 636-1822 μ mol/l en P-t: 6,3-29,9 mmol/l). Deze fosfaatconcentraties zijn te hoog voor de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetaties waardoor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgrasland op deze locaties logischer is (of 60-90 jaar maaien en afvoeren). Op locaties 54 en 55, in het noordoosten van dit cluster, zijn er kansen voor de ontwikkeling van een heide/ heischraalgrasland op de toplaag na een verschrallingsbeheer van 20 tot 25 jaar maaien en afvoeren. Locatie 52 is reeds voldoende fosfaatarm (413 μ mol/l Olsen-P; 10,9 mmol/l P-t). Hierdoor is de ontwikkeling van een blauwgrasland mogelijk op de toplaag na het verwijderen van de zode (5 cm) en het aanbrengen van maaisel uit een referentiegebied.

De buffering van de bodem is geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland, heischraalgrasland of heide. Een beperkte ontgronding van minimaal 20 en optimaal 30 cm lijkt een goede optie en zeer kansrijk op basis van de analyses van bodemlagen onder de bouwvoor op locatie 55, 56 en 57. Deze zijn voldoende fosfaatarm is voor de ontwikkeling van fosfaatgelimiteerde vegetatie. De analyses op locatie 51 en 54 laten zien dat het niet altijd voldoende is om de bouwvoor van 15-20 cm af te graven. Het is echter goed mogelijk dat de bodem op 30-40 cm-mv en lokaal 20-30 cm-mv geschikt is voor fosfaatgelimiteerde vegetatie. Echter om hier met zekerheid over te kunnen spreken zijn aanvullende analyses nodig. Dit biedt inzicht in de ontwikkelingsmogelijkheden na een ontgronding van 20 of 30 cm.

Advies toplaag: toplaag door ontwikkelen t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland (locatie 52), kruiden- en faunarijkgrasland (locatie 50, 51, 53, 54, 55, 56 en 57) of 20-25 jaar maaien en afvoeren t.b.v. de ontwikkeling van een heide/ heischraalgrasland (locatie 54 en 55).

Advies ontgronding: aanvullende analyses zijn nodig om op alle locaties een beeld te krijgen van de potenties na 20 of 30 cm afgraven. De reeds beschikbare dieptemetingen op de locaties 51, 54,

55, 56 en 57 geven onvoldoende inzicht. Een relatief beperkte ontgronding biedt wellicht kansen voor de ontwikkeling van nat schraalland.

Tabel 15. Overzichtstabel van de kansen door middel van verschrallingsbeheer van de toplaag (hoge potentie = P-gelimiteerde natuurtypen; lage potentie = kruiden- en faunarijck grasland; Z = zode verwijderen; MA = jaren maaien en afvoeren; (+) = mogelijk langere verschrallingsduur vereist omdat geen bodempakket van 20 cm is geanalyseerd) en ontgronding (? = mogelijk kansrijk op basis van het bodemprofiel: aanvullende analyses geadviseerd) in deelgebied Mouneleane Oost. Mogelijke aanvullende analyses (relevante bodemlagen worden vermeld) en bijzonderheden worden eveneens vermeld. Gebruikte afkortingen: BV = bouwvoor dikte (cm); GHG en GLG = gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (afgeleid uit het bodemprofiel) in cm-mv; HEI= heide; HSG = heischraalgrasland; BLG = blauwgrasland; DBH = dotterbloemhooiland; KFG = kruiden- en faunarijckgrasland.

Cluster	Nr	BV	GLG	GHG	kansen verschrallingsbeheer		kansen ontgronding	aanvullende analyse	bijzonderheden
					hoge potentie	lage potentie			
1HH	42	35	80	40	BLG/DBH	-	Zode		
	43	20	90	30	BLG/DBH	-	Zode		
	44	15	100	40	BLG	-	Zode of -15 BLG/DBH		
	45	35	130	70	39 jr MA BLG	KFG	-20? of -35?	20-35 en 35-45	
2HH	46	35	100	50	20 jr MA BLG	KFG	-20 of -35?	20-35 en 35-45	
	47	20	110	30	105 jr MA HSG	KFG	-20(+) HEI		bekalkingsadvies
	48	20	140	40	107 jr MA HSG	KFG	-20 HEI/HSG		
3HH	49	20	70	10	Z BLG	-	Zode	-	ijzerrijk
	58	15	110	30	18 jr MA HEI/HSG	KFG	-15 HEI/HSG	-	
	59	5	80	10	Z BLG	-	-5 of -15 BLG	-	
	60	15	80	30	22 jr MA HSG/BLG	-	-15 BLG	-	
	61	10	85	20	Z BLG	-	Zode	-	
4HH	50	20	90	30	136 jr MA BLG	64 jr MA KFG	-20 of -30?	30-40	nitraatrijk
	51	20	140	50	58 jr MA HSG	KFG	-30?	30-40	
	52	30	100	50	BLG	-	Zode of -20 BKG		
	53	30	80	30	90 jr MA BLG	24 jr MA KFG	-20? of -30?	20-30 en 30-40	
	54	20	100	30	25 jr MA HEI/HSG	KFG	-30?	30-40	
	55	15	80	20	20 jr MA HSG	KFG	-15 BLG		nitraatrijk
	56	35	110	80	66 jr MA HSG	KFG	-35 BLG		
	57	30	-	-	79 jr MA BLG	10 jr MA KFG	-30 BLG		

..... Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling

Uit het bodemchemisch onderzoek is gebleken dat de toplaag overwegend beperkt tot matig verrijkt is met fosfaat. Het lijkt erop dat de bodems gedurende een lange periode niet zeer intensief zijn gebruikt en/of verstoord (de bouwvoordikte is relatief beperkt, circa 15-30 cm).

Lokaal is de toplaag reeds voldoende voedselarm voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuur. Dat de doelvegetatie (bijvoorbeeld blauwgrasland) op deze plekken ontbreekt, is waarschijnlijk het gevolg van de restanten van de soortenarme graszode tijdens het landbouwkundig gebruik. Hierdoor ontbreken kiemplaatsen voor doelsoorten. Daarnaast zullen zaden van doelsoorten waarschijnlijk ontbreken (vochtige tot natte venige bodems kunnen een uitzondering vormen). Door de soortenarme zode (5 cm) te verwijderen en maaisel uit een referentieterrein op te brengen kan de ontwikkeling van de doelvegetatie worden gestimuleerd. Dit duurt veelal circa 5 jaar.

Op locaties waar de bodem in het gebied verrijkt is met fosfaat is de bodem nog niet meteen geschikt voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuurtypen. Het verwijderen van de bouwvoor (15-30 cm) of het voeren van een verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren zijn soms geschikte maatregelen om P-gelimiteerde condities te creëren in het gebied. Om de ontgrondingsmogelijkheden beter in kaart te brengen, tot een maximale ontgrondingsdiepte van bijvoorbeeld 30 cm, zijn aanvullende analyses vereist.

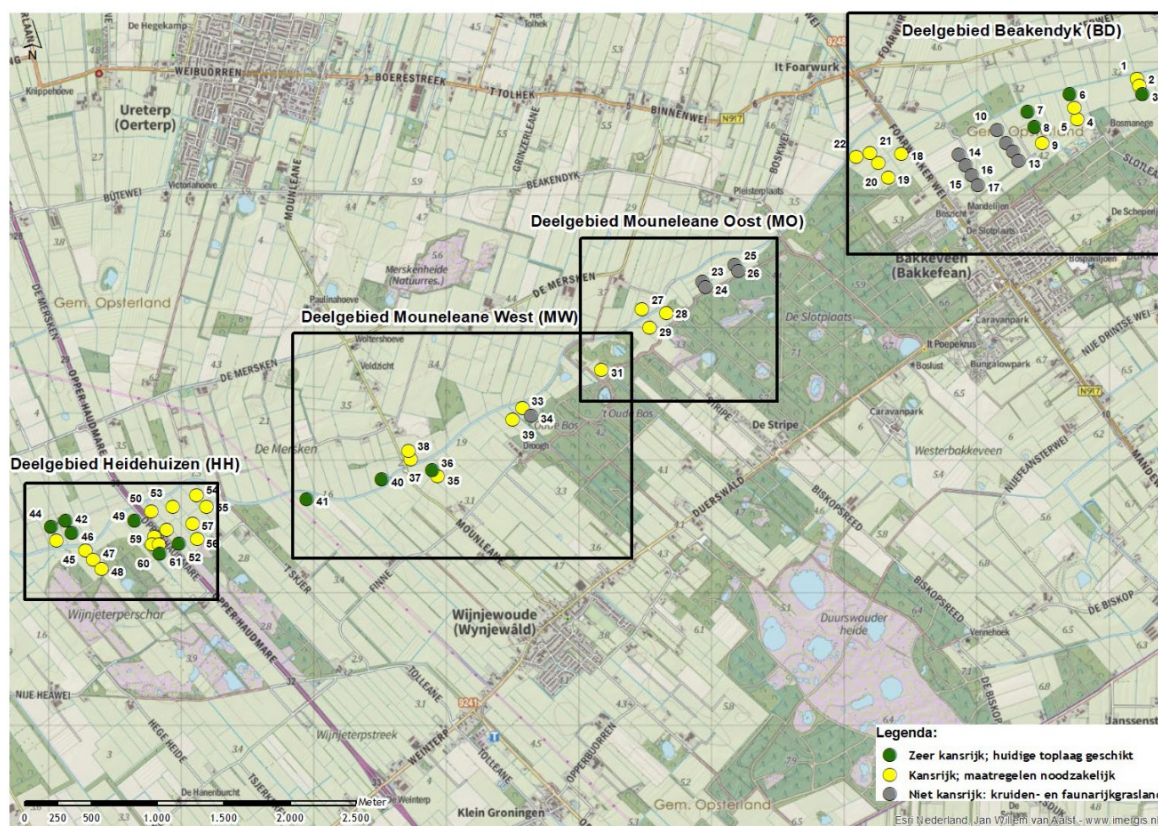
Echter dit is niet altijd het geval. In sommige clusters is de bodem te voedselrijk en is weinig winst te behalen door middel van een ontgroning van 15-30 cm. Op deze locaties kan beter worden ingezet op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland. Dit kan door een beheer van maaien en afvoeren te hanteren.

De locaties zijn op basis van de beschikbare data en expert judgement verdeeld in drie categorieën:

1. Zeer kansrijk: de toplaag van de bodem is reeds voldoende voedselarm, het verwijderen van de zode (5 cm; mits soortenarm) volstaat in combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentieterrein *;
2. Kansrijk: door middel van gerichte (en relatief beperkte) maatregelen (tot 40 jaar maaien en afvoeren en/of tot maximaal 30 cm ontgronden) kunnen voldoende voedselarme condities worden gecreëerd voor de ontwikkeling van de beoogde doelvegetatie *;
3. Niet kansrijk: de bodem is te voedselrijk en/of te diep verrijkt met fosfaat dat het bijstellen van de ambities en het inzetten op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland de meest voor de hand liggende keuze is.

*: het optimaliseren van de hydrologische omstandigheden is een vereiste voor de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen.

In Figuur 50 wordt de ruimtelijke variatie grafisch weergegeven. Voornamelijk categorie twee is interessant voor beperkt aanvullend onderzoek. Feit is dat het gebied zeer kansrijk is voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuurtypen en dat de vereiste maatregelen niet al te fors zijn (in vergelijking met vele andere onderzoeken die zijn uitgevoerd op voormalige landbouwgronden).



Figuur 50. Overzicht van de kansrijkdom per locatie in het gebied op een topografische kaart.

Wanneer een verschrallingsbeheer nodig is dient men zich te realiseren dat de kans groot is dat, na het realiseren van de beoogde verschralling, sprake is van een relatief soortenarme vegetatie. Deze kan wel kruidenrijk zijn maar doelsoorten van nat schraalland of vochtig hooiland ontbreken veelal. Dit komt doordat de dichte (voormalige landbouw-) zode weinig ruimte biedt voor de kieming van doelsoorten en doordat zaden ontbreken. Er wordt dan ook geadviseerd om na het realiseren van de gewenste verschralling de soortenarme zode te plaggen en maaisel uit een referentieterrein op te brengen. Het is goed om hiervan bewust te zijn: ook na een verschrallingsbeheer zijn aanvullende maatregelen vereist (plaggen) om de kansen te benutten en de doelvegetatie tot ontwikkeling te laten komen. Men dient dan ook de periode van het vereiste verschrallingsbeheer en de vereiste plagwerkzaamheden (5 cm) af te zetten tegen de vereiste ontgrondingsdiepte (lokaal 10-30 cm). Kwetsbare soorten staan onder druk en uitbreiding van het areaal aan bijvoorbeeld nat schraalland kan bijdragen aan een succesvol herstel.

Onder voldoende voedselarme en de juiste hydrologische omstandigheden zijn vooral potenties aanwezig voor de ontwikkeling van nat schraalland. Afhankelijk van de mate van buffering van de bodem zal dit heischraal grasland (zwak gebufferd) of blauwgrasland (matig-goed gebufferd) zijn. Op zuurdere locaties kan heide tot ontwikkeling komen en op zeer ijzerrijke, gebufferde locaties dotterbloemhooiland.

De hydrologische omstandigheden na uitvoering van de vernattingsmaatregelen zijn lastig van tevoren te voorspellen. Dit kwantitatieve hydrologische aspect maakt geen onderdeel uit van het onderzoek. Wanneer de P-concentraties in de bodem voldoende zijn verlaagd maar de hydrologische omstandigheden niet kunnen worden geoptimaliseerd en de condities te droog blijven leidt dit tot een andere ontwikkeling:

Vochtig heischraal grasland → droog heischraalland;

Blauwgrasland → droog heischraalland/ kruiden- en faunarijkgasland;

.....
Vochtig hooiland → glanshaverhooiland (kleiig zand)/ kruiden- en faunarijke grasland.

Wanneer de vernattingsmaatregelen leiden tot zeer natte condities met onvoldoende droogval in de zomerperiode kunnen de volgende ontwikkelingen worden verwacht:

Vochtig heischraal grasland → kleine zeggen-gemeenschap;

Blauwgrasland → kleine zeggen-gemeenschap/ trilveen/ rietmoeras;

Vochtig hooiland → trilveen/ rietmoeras.

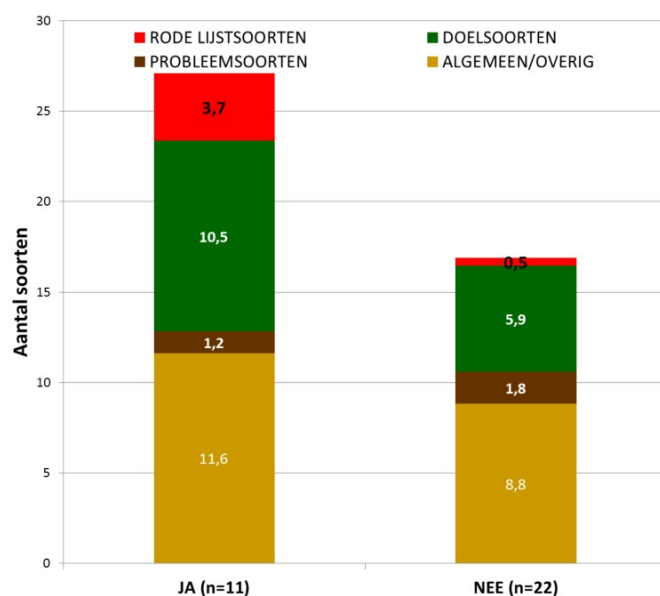
5.6 Aanvullende maatregelen

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

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 51).

Ditzelfde geldt ook voor locaties die door middel van een verschrallingsbeheer zijn verschraald. Na het bereiken van de vereiste verschralling is een dichte (relatief soortenarme) zode aanwezig waarin doelsoorten waarschijnlijk ontbreken. Plaggen of chopperen van de zode (mits soortenarm) en maaisel van een doelvegetatie opbrengen kan de beoogde ontwikkeling stimuleren.

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 51 en Figuur 52) 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 ook 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.



Figuur 51. Links: resultaten van een ontgrondingsevaluatie, uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE in 2014 en 2015. Op 33 locaties zijn vegetatieopnames gemaakt in gebieden waar door middel van ontgronding (minimaal 4 jaar geleden) voedselarme condities zijn gecreëerd op voormalige landbouwgronden ten behoeve van schraallandontwikkeling. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen locaties waar wel (11 locaties) en geen (22 locaties) herintroductie, door middel van het opbrengen van maaisel na ontgronding, heeft plaatsgevonden. De soorten zijn verdeeld over vier klassen: Rode Lijstsoorten, Doelsoorten, Probleemsoorten en Algemene/overige soorten. Bron: Onderzoekcentrum B-WARE. Rechts: Foto's van succesvolle ontwikkeling van nat schraalland met onder ander Moeraskartelblad, Blauwe zegge, Zwarte zegge, Blauwe knoop, Vetblad, Heidekartelblad, Gevlekte orchis, Welriekende nachtorchis, Brede orchis en Moeraswespenorchis door middel van het afgraven van de voedselrijke toplaag in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. Foto's: Mark van Mullekom.



Figuur 52. Het uitstrooien van heideplagsel en het resultaat na vier jaar. Foto's: Michael van Roosmalen, Stichting Het Limburgs Landschap.

Op (matig) voedselrijke plekken waar niet wordt afgegraven kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en 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

.....
< 1-2). Uit lopend onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is (circa 900-1200 $\mu\text{mol/l}$). Om verruiging te voorkomen wordt geadviseerd om de detailontwatering in stand te houden zodat de P-rijke toplaag voldoende droogvalt (voorkomen P-mobilisatie).

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 (88380) $\mu\text{mol/kg}$) 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. 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. 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). Het merendeel van de geanalyseerde bodems zijn K-arm ($< 250 \mu\text{mol/l}$). Op de locaties waar de ontwikkeling van heide mogelijk is en waarbij een eenmalige bekalking wordt geadviseerd (locatie 31 en 45), wordt aanbevolen om te bekalken met 2000 kg Dolokal en (i.v.m. de relatief lage K-NaCl concentraties) 1000 kg K-rijk steenmeel (bijvoorbeeld Vulkamin) per hectare. Op de andere locaties in het onderzoeksgebied waar heideontwikkeling mogelijk is, zijn de K-NaCl concentraties overal hoger dan 250 $\mu\text{mol/l}$ waardoor het aanvullend toedienen van K-rijk steenmeel niet nodig wordt geacht, toediening van Dolokal volstaat. Onderzoeken naar de lange-termijn-effecten van steenmeel lopen nog.

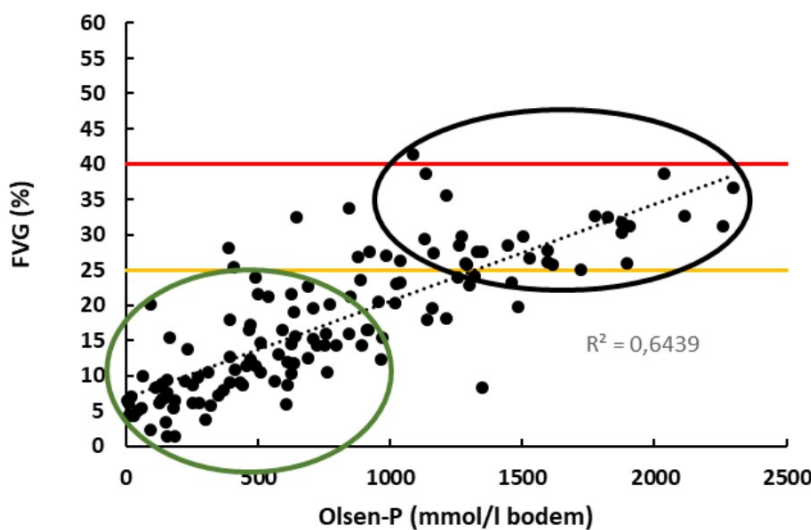
Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals heischrale graslanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden is grondwaterinvloed in de wortelzone of het 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. De afvoer van grond- en/of regenwater is een belangrijke vereiste: er dient doorstroming plaats te vinden in plaats van stagnatie. Op plekken waar regenwater stagneert, kunnen veenmossen gaan domineren, vooral op gebufferde bodems omdat hier veel CO_2 beschikbaar komt. Voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland kan inundatie met relatief schoon, gebufferd oppervlaktewater volstaan. Inundatie met P-rijk oppervlaktewater en/of de afzetting van P-rijk slib kan echter tot verrijking en daarmee tot verruiging leiden. In de zomer dient de toplaag droog te vallen om P-binding te stimuleren en verruiging te voorkomen. In verband met het veranderende klimaat (extremere weersomstandigheden) wordt geadviseerd de hydrologische omstandigheden (bij vernatting) regelbaar te maken.

6. RISICO'S VAN VERNATTING

De opdrachtgever wil weten in hoeverre vernatting (of inundatie) van de voormalige landbouwgronden consequenties heeft voor de vegetatieontwikkeling (verruiging) of waterkwaliteit als gevolg van het extra beschikbaar komen van fosfaat.

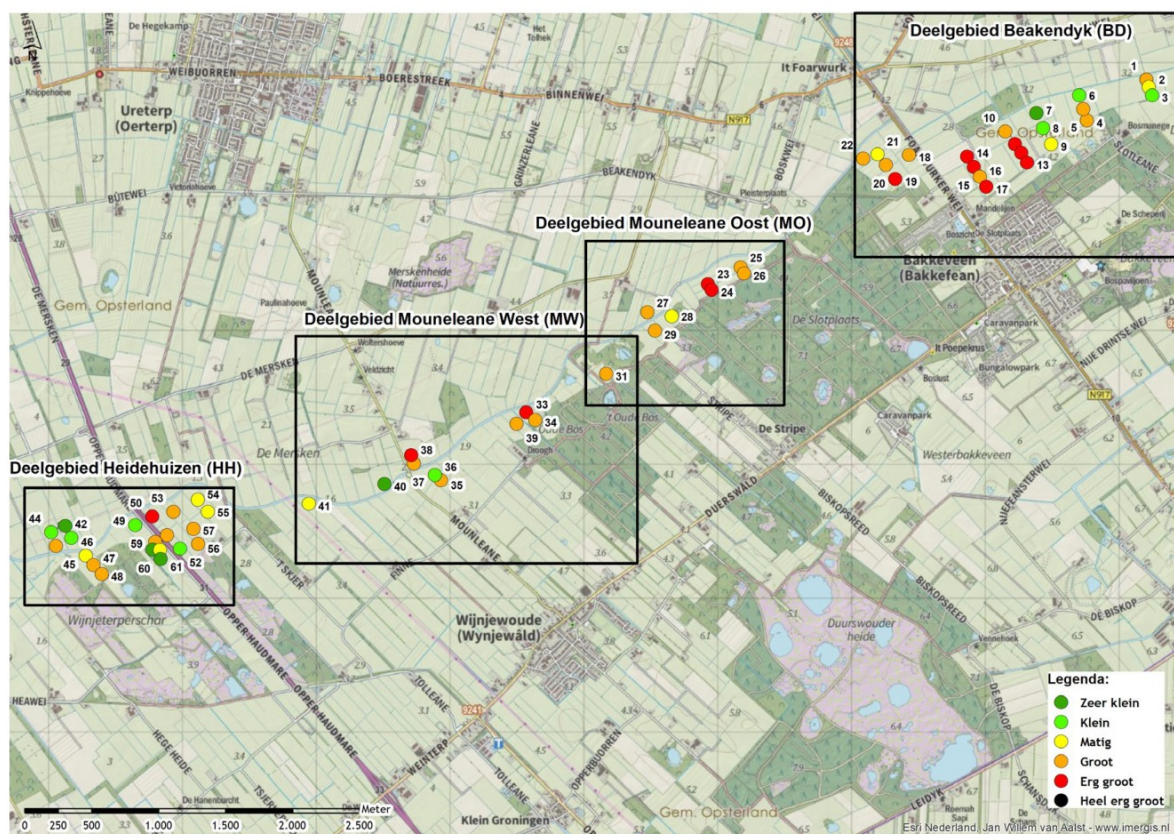
6.1 Risico's op verruiging van de vegetatie

Wanneer (voormalige) landbouwgronden natter worden kan dit leiden tot verruiging met pitrus en/of liesgras. Deze ruigtesoorten profiteren van het extra fosfor (en ammonium) dat beschikbaar komt. Dit is met name het geval wanneer de bodems in de zomerperiode vochtig tot nat zijn.



Figuur 53. Correlatie tussen de Olsen-P concentratie en de fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Bij bodems met een Olsen-P concentratie <(800-)1000 $\mu\text{mol/l}$ is de FVG over het algemeen <25% en daarboven >25%.

Wanneer sprake is van P-gelimiteerde omstandigheden (Olsen-P concentratie <300(-500) $\mu\text{mol/l}$ en FVG <12,5(-25)%) zijn deze risico's beperkt en kan een soortenrijke vegetatie tot ontwikkeling komen. Bij een Olsen-P concentratie <(800-)1000 $\mu\text{mol/l}$ is de FVG over het algemeen <25% terwijl deze over het algemeen >25% is bij een Olsen-P concentratie >1000 $\mu\text{mol/l}$. Op basis van de Olsen-P concentraties van de toplaag is het risico op verruiging (pitrusontwikkeling), na vernatting, van de huidige toplaag inzichtelijk gemaakt. Dit wordt weergegeven in Figuur 54.



Figuur 54. Overzicht van het risico op verruiging (pitrusontwikkeling) bij vernatting van de (voormalige) landbouwgronden op basis van Olsen-P concentratie van de toplaag (in $\mu\text{mol/l}$) waarbij deze grenzen zijn gehanteerd:

<300	301-500	500-800	800-1500	1500-2500	>2500
------	---------	---------	----------	-----------	-------

In paragraaf 5.3 is reeds beschreven dat de oppervlaktewaterkwaliteit (op basis van de eenmalige meting) geen groot risico vormt voor vermesting van eventueel afgegraven/ verschaalde percelen, zeker niet wanneer deze inundaties vooral in de winterperiode plaatsvinden. De afzetting van eventueel P-rijke slibdeeltjes uit de beek is een mogelijk risico (turbiditeit van het water was ca. 7 NTU). Op de precieze hoeveelheid en kwaliteit van slibdeeltjes hebben we geen zicht. Het maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. Het stoppen van bemesting (als er nog bemest wordt) en het lokaal afgraven van de voedselrijke toplaag langs de beek zal op zijn beurt weer bijdragen aan een vermindering van de uit- en afspoeling van nutriënten en bodemdeeltjes uit de percelen en hiermee tot een verbetering van de waterkwaliteit leiden.

6.2 Risico's op fosfaatsniveaus bij inundatie

Om de mate van P-nalevering van verschillende bodems te bepalen werd een naleveringsexperiment uitgevoerd. Hiervoor werden 33 zand- en veen-/venige bodems geselecteerd, zowel van de toplaag als onderliggende bodems. Deze bodems werden gedurende 11 weken onder water gezet waarna poriewater in de (water)bodem en een oppervlaktewatermonster werd verzameld voor analyse. Enkele karakteristieke bodemchemische eigenschappen en concentraties in het poriewater worden gegeven in Tabel 16. Daarnaast wordt de P-nalevering naar het oppervlaktewater weergegeven.

Tabel 16. Overzicht van bodemchemie op verschillende dieptes (in cm-mv; bv = bouwvoor) waarbij OS = organisch stofpercentage; Ols-P = Olsen-P (µmol/l); -t = totale concentratie (mmol/l; Fe/P ratio in mol/mol), -z = zoutuitwisselbare concentraties (µmol/l), P-ox = oxalaatextraheerbaar fosfor (mmol/kg) en FVG = fosfaatverzadigingsgraad en poriewaterkwaliteit na 11 weken inundatie in µmol/l (Fe/P ratio in mol/mol). P-NLV = P-nalevering in mg/m²/dag. In de tabel worden de volgende arceringen gebruikt.

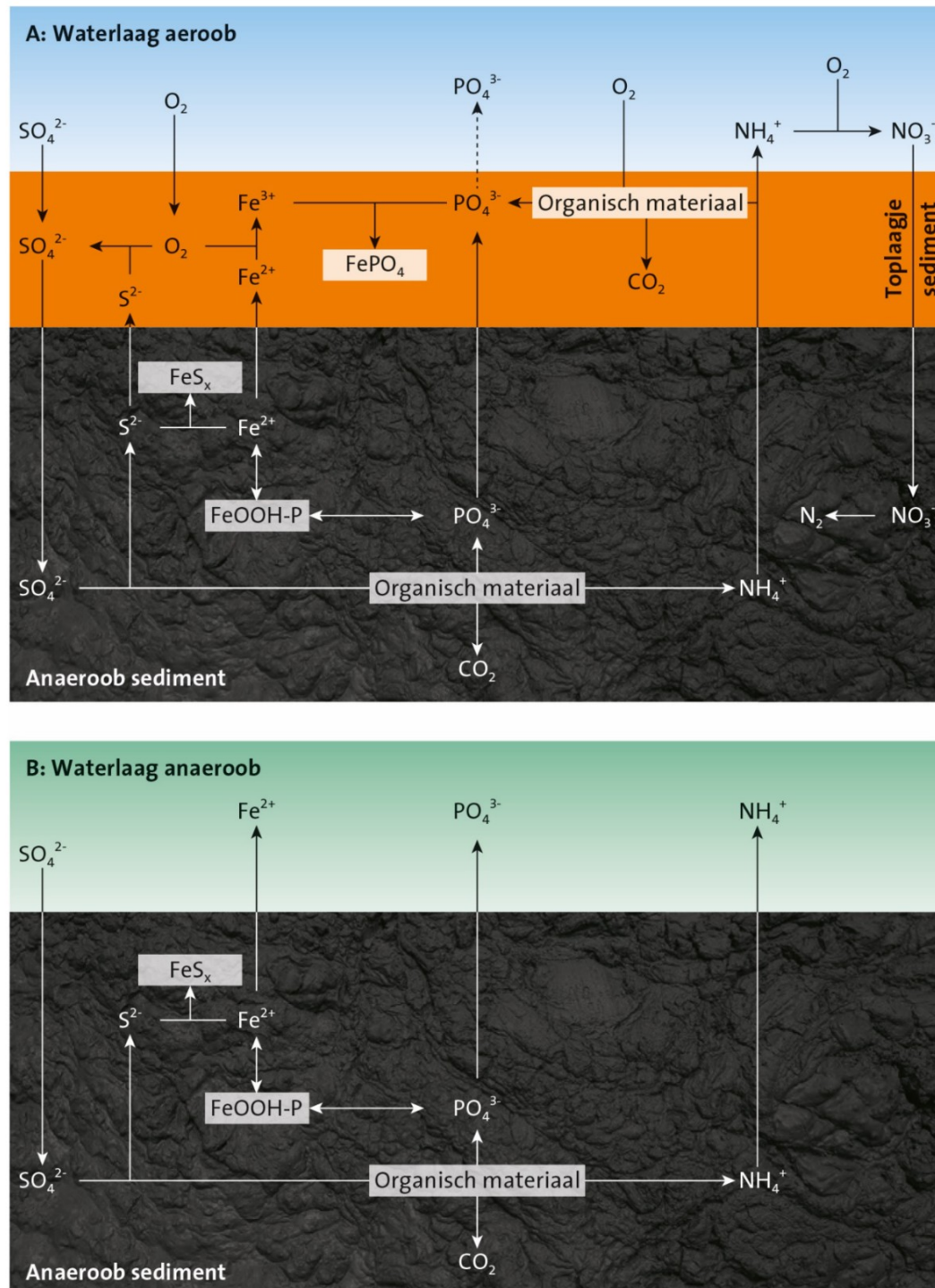
OS	<5	6-10	11-25	26-50	>50	
Ols-P	<300	301-500	500-800	800-1500	1500-2500	>2500
FVG	<12,5	12,5-25	26-40	>40		
Fe-t	<20	21-50	51-100	101-150	151-300	>300
P-NLV	<1	1-3	3-5	5-10	>10	
Fe/P	>25	1-5	0-1	<0		
P-pw	<10	11-25	26-50	51-100	101-200	>200

DIEPTE EN GRONDSOORT			BODEMCHEMIE											PORIEWATER 11 WKN											NLV
Code	Diepte	Grondsoort	OS%	Ols-P	P-t	P-ox	FVG	P-z	NO ₃ -z	NH ₄ -z	Fe-t	Fe/P	S-t	Al-t	Ca-t	pH	HCO ₃	NO ₃	NH ₄	Fe	Mn	P	Fe/P	S	P-nlv
10-1 AP	0-20	zand, humeus, bv	13	1022	10,8	9,2	23	8,7	1058	66	45	4	14	88	56	7,1	4736	5,0	146	502	56	57,5	9	110	6,38
10-2 AP	20-30	zand, humeus, bv	20	885	11,8	12,5	24	4,8	682	68	54	5	16	83	74	7,0	4287	4,4	199	403	52	67,8	6	116	0,33
10-3 O	50-60	veen, sterk veraard	17	1020	11,1	11,6	20	3,7	545	48	55	5	15	95	76	7,0	2372	4,4	76	311	39	55,6	6	94	0,30
12-1 AP	0-20	zand, humeus, bv	11	1614	12,7	12,0	26	5,2	653	539	36	3	10	81	35	6,5	3055	3,8	694	671	102	10,8	62	75	0,46
12-2 AP	20-40	zand, bv	9	1501	12,6	14,3	30	4,1	360	413	43	3	8	92	43	6,7	2136	3,4	46	182	35	6,5	28	40	0,33
12-3 AB	40-50	zand, omgewerkt	7	725	7,5	5,4	14	2,1	191	58	32	4	6	91	37	6,5	2177	3,4	68	76	22	3,9	20	47	0,28
12-4 B	50-60	zand	2	609	2,5	1,2	9	1,6	135	119	13	5	3	82	17	6,8	869	3,5	58	19	3	1,1	17	38	0,16
18-1 AP	0-20	veen, veraard, bv	15	1263	18,2	17,6	28	4,4	905	183	91	5	13	166	65	6,7	6445	3,7	139	703	96	11,6	60	80	0,16
18-2 AP	20-35	veen, veraard, bv	14	407	18,5	16,9	25	2,7	627	63	110	6	13	180	71	6,6	4447	3,8	133	760	78	20,0	38	105	0,35
18-3 O	35-45	veen	53	134	4,1	6,8	7	3,3	780	145	31	8	20	37	71	6,4	1628	7,2	292	431	29	63,8	7	353	0,10
19-1 AP	0-20	zand, bv	6	2038	10,4	9,5	39	7,0	253	73	29	3	5	105	22	5,7	486	3,5	377	788	64	16,7	47	72	0,28
24-1 AP	0-15	zand, bv	8	2258	11,5	11,5	31	6,5	556	83	28	2	7	67	18	6,1	1475	4,8	637	1006	73	24,8	41	112	1,40
27-1 AP	0-20	veen, veraard, bv	25	894	99,1	39,6	14	2,0	2467	55	1840	19	19	41	129	7,5	7779	3,5	334	201	63	4,3	46	232	0,15
27-2 O	20-30	veen, veraard	39	575	47,8	41,6	13	1,0	1514	0	707	15	15	26	125	7,3	4590	3,3	106	42	21	2,5	17	271	0,09
27-3 O	30-40	veen	57	538	33,0	84,9	21	0,7	1214	0	376	11	17	63	148	6,9	3082	3,1	59	15	6	2,0	8	367	0,20
29-1 AP	0-20	zand, humeus, bv	17	963	16,7	15,1	12	2,1	1688	247	213	13	15	56	52	7,3	9338	8,4	988	2362	118	5,0	470	196	0,11
34-1 AP	0-20	zand, bv	5	1132	8,0	4,1	29	6,3	443	193	29	4	K	61	13	6,3	1602	7,6	849	906	32	66,0	14	171	0,29
35-1 AB	0-20	zand, humeus, bv	12	955	15,9	14,7	20	3,1	1103	868	138	9	14	112	58	7,3	13168	5,3	577	2125	146	16,2	131	141	0,11
35-2 AB	20-40	zand, humeus, bv	12	772	14,0	16,5	20	1,9	500	11	188	13	14	156	85	7,4	9994	3,5	170	364	82	11,2	32	724	0,04
35-3 BC	40-60	zand, humeus, bv	13	250	7,0	4,9	9	1,2	157	43	140	20	13	153	79	7,3	1985	7,6	28	78	19	1,9	41	918	0,09
37-1 AP	0-20	zand, bv	8	842	14,4	13,0	16	1,5	555	85	143	10	9	107	28	6,5	5071	12,2	499	1966	190	4,3	456	102	0,20
37-2 BC	20-30	zand	2	510	6,8	3,0	15	1,4	120	29	77	11	3	96	20	6,7	3922	3,7	54	493	95	4,3	113	161	0,19
37-3 C	30-40	zand	1	231	4,0	1,3	14	0,9	67	63	51	13	1	97	17	6,8	1517	3,9	21	286	44	14,3	20	82	0,08
43-1 AP	0-20	veen, veraard, bv	49	393	21,2	33,5	9	1,7	647	159	245	12	26	135	89	6,5	5793	4,1	633	1408	73	3,1	449	150	0,03
43-2 O	20-35	veen	63	114	11,8	23,6	8	1,1	375	61	73	6	26	126	115	6,6	2674	3,7	144	170	13	1,5	115	578	0,09
43-3 O	35-50	veen	66	62	8,3	20,8	10	1,1	88	16	39	5	27	100	114	6,8	1054	3,5	34	33	3	1,0	34	715	0,09
47-1 AP	0-20	zand, humeus, bv	10	1212	22,0	23,0	18	2,2	330	262	261	12	10	82	29	6,6	6779	8,9	876	3518	234	6,2	565	156	0,12
49-1 AP	0-20	veen, veraard, bv	39	440	22,4	31,6	9	1,0	703	129	351	16	24	154	70	7,8	3931	3,7	376	847	45	1,5	548	232	0,15
54-1 AP	0-20	zand, bv	4	636	6,3	4,5	19	2,8	352	151	34	5	4	80	8	6,3	3403	4,7	1216	1106	121	5,7	194	116	0,09
54-2 C	20-30	zand	1	687	5,5	3,3	13	2,0	127	228	42	8	1	122	6	6,6	1071	4,8	169	397	34	2,2	184	62	0,17
57-1 AP	0-20	zand, humeus, bv	13	1320	18,1	14,6	24	6,6	514	160	88	5	16	93	37	6,9	8852	5,6	1360	1910	78	8,8	216	188	0,17
57-2 AP	20-30	zand, humeus, bv	11	796	14,5	10,1	14	4,1	692	238	178	12	18	170	71	6,7	11162	4,4	630	1361	81	5,0	272	284	0,03
57-3 C	30-40	zand	1	156	3,3	0,9	9	2,7	170	61	51	15	2	98	22	7,2	2114	4,0	12	132	18	1,9	69	338	0,06

Wanneer landbouwbodems lange tijd of permanent onder water komen te staan fungeren deze als waterbodem. Waterbodems zijn permanent waterverzadigd en hierdoor overwegend zuurstofarm. In permanent anaerobe bodems fungeren in plaats van zuurstof andere elektronenacceptoren (zoals nitraat, driewaardig ijzer en sulfaat) als alternatieve elektronenacceptor voor de afbraak van organisch materiaal. De beschikbaarheid van alternatieve elektronenacceptoren binnen een watersysteem zal dan ook in belangrijke mate bijdragen aan de afbraak van (reactief) organisch materiaal in de anaerobe waterbodem. Bij deze afbraak komen anorganisch koolstof (kooldioxide en bicarbonaat) en nutriënten vrij in de vorm van fosfaat en ammonium, en wordt ook stikstofgas, gereduceerd ijzer (Fe²⁺) en/of sulfide gevormd. Na inundatie van de bodems zien we dan ook dat de ijzerconcentratie van het poriewater geleidelijk toeneemt. Ook de fosforconcentratie kan toenemen. De mate waarin dit laatste gebeurt hangt af van de verhouding tussen fosfor en amorfe ijzer- en aluminium(hydr)oxides waaraan dit fosfor kan binden (de fosfaatverzadiging).

Vrij sulfide bindt aan ijzer dat aanwezig is in de waterbodem, waardoor de mobiliteit van ijzer afneemt en tevens de binding van fosfor aan ijzer(hydr)oxiden verminderd wordt (Lamers e.a.,

1998; Smolders e.a., 2006). Naarmate een groter deel van het ijzer in de bodem gebonden is aan sulfide, zal de ijzerconcentratie van het poriewater dalen. Hierdoor kan er ook minder fosfaat gebonden worden in de bodem, met een stijging van de fosfaatconcentratie in het poriewater van de waterbodem als gevolg (Smolders e.a., 2006). Fosformobilisatie als gevolg van sulfaatreductie is echter met name van belang voor bodems die langdurig geïnundeerd zijn (zoals onderwaterbodems) en niet voor bodems die slechts tijdelijk worden geïnundeerd.

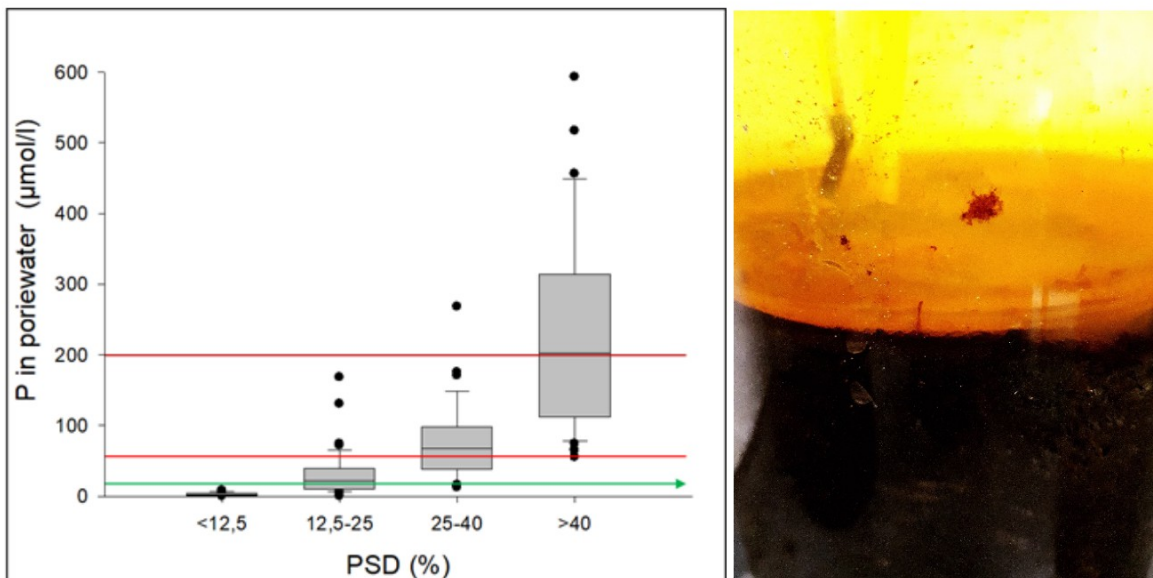


Figuur 55. Interacties tussen de zwavel-, ijzer- en fosforkringloop in wateren met een zuurstofhoudende waterlaag (A) en wateren met een zuurstofarme waterlaag (B). In oranje is het geoxideerde toplaagje van de waterbodem (het sediment) weergegeven. Dit laagje is meestal maar enkele millimeters dik. Bron: Smolders e.a. (2019).

Hoge ijzerconcentraties in het bodemwater gaan, zolang de waterlaag voldoende zuurstof bevat, de nalevering van fosfaat naar de waterlaag tegen. Dit heeft te maken met het feit dat relatief goed oplosbaar gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) in het geoxideerde toplaagje van het sediment wordt geoxideerd tot slecht oplosbaar Fe^{3+} . Dit Fe^{3+} kan in de bodem samen met fosfaat neerslaan als ijzerfosfaat of als slecht oplosbaar ijzer(III)(hydr)oxide waaraan fosfaat kan adsorberen (de ‘ijzerval’; Figuur 55 en Figuur 56. De ijzerval kan functioneren zolang er voldoende zuurstof in de waterlaag boven de waterbodem aanwezig is. In het Koningsdiep zien we ook dat er veel ijzer wordt gemobiliseerd in het poriewater. Dat de absolute P concentraties in het poriewater relatief laag blijven (overwegend $<25 \mu\text{mol/l}$, lokaal $50\text{--}70 \mu\text{mol/l}$) en dat de Fe/P ratio (zeer) positief is.

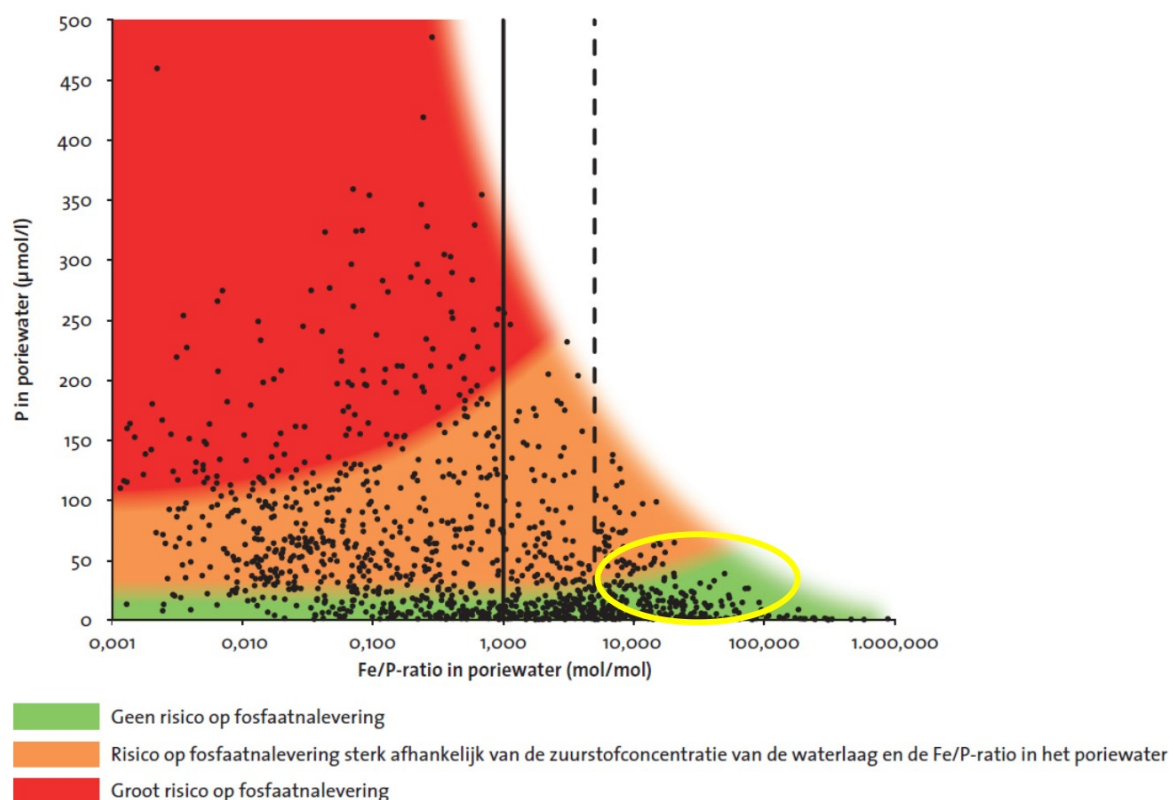
Wanneer de waterlaag zuurstofarm wordt (met name in stagnant water), kan het ijzer niet meer worden geoxideerd en zal fosfaat samen met het ijzer naar de waterlaag diffunderen. Dit gebeurt met name in de zomermaanden wanneer het warm is en er veel reactief organisch materiaal, dode algen en plantenresten in de toplaag aanwezig zijn. De hoge microbiële activiteit kan er dan, samen met het feit dat er in warmer water minder zuurstof kan oplossen, voor zorgen dat de zuurstofconcentratie in de waterlaag sterk daalt. Zolang de waterlaag aerob is, is de ratio tussen de ijzer- en de fosforconcentratie van het poriewater dus bepalend voor de mate van fosfornalevering uit de waterbodem naar de waterlaag. Wanneer de waterlaag anaerob wordt, bijvoorbeeld bij warm weer in de zomer, kan dit leiden tot fosfaattalevering vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater (Figuur 55).

Uit de bodemanalyses blijkt dat er sprake is van relatief beperkt met P-verrijkte bodems met een FVG $< 25\text{--}30\%$. Uit eerdere naleveringsexperimenten die werden uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE blijkt dat vooral in bodems met een FVG $> 40\%$ (zeer) hoge P concentraties in het poriewater werden gemeten (Figuur 56; PSD = FVG). Uit Figuur 57 blijkt dat bij dergelijke hoge P concentraties in het poriewater ($>100 \mu\text{mol/l}$) het risico op P-nalevering naar de waterlaag groot is.



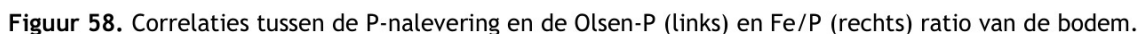
Figuur 56. Links: fosfaatverzadigingsgraad (bezetting van de amorfe ijzer- en aluminiumhydroxides met fosfaat) van de bodem als indicator voor de fosforconcentratie in het poriewater na vernatting van bodems (data Onderzoekcentrum B-WARE, Smolders e.a. 2019). PSD = phosphate saturation degree (= fosfaatverzadigingsgraad). De groene lijn geeft een lage concentratie weer (10 à $20 \mu\text{mol/l}$), rode lijnen geven hoge concentraties weer (matig hoog $50 \mu\text{mol/l}$ tot zeer hoog $>200 \mu\text{mol/l}$). Rechts: geoxideerd ijzer in de toplaag van de waterbodem (de ‘ijzerval’; foto: Mark van Mullekom).

In het Koningsdiep is het risico op P-nalevering laag tot beperkt op basis van de relatief lage FVG ($\pm 10\text{-}30\%$), lage P-concentraties in het poriewater ($\pm 2\text{-}70 \mu\text{mol/l}$), hoge ijzerconcentraties in het poriewater ($\pm 20\text{-}3500 \mu\text{mol/l}$) en hoge Fe/P ratio. De P-nalevering naar het zuurstofhoudende oppervlaktewater (gemiddeld $7,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$) is overal <1 (overwegend $<0,4$) $\text{mg/m}^2/\text{dag}$ en daarmee laag. Een uitzondering vormt de toplaag van locatie 24 waar een P-nalevering van $1,4 \text{ mg/l}$ werd gemeten. Op deze locatie is de bodem het rijks aan Olsen-P ($2258 \mu\text{mol/l}$) en de zuurstofconcentratie van het oppervlaktewater een fractie lager in vergelijking met de andere locaties ($4,9 \text{ mg/l}$). De fosfaatverzadigingsgraad is 31% .



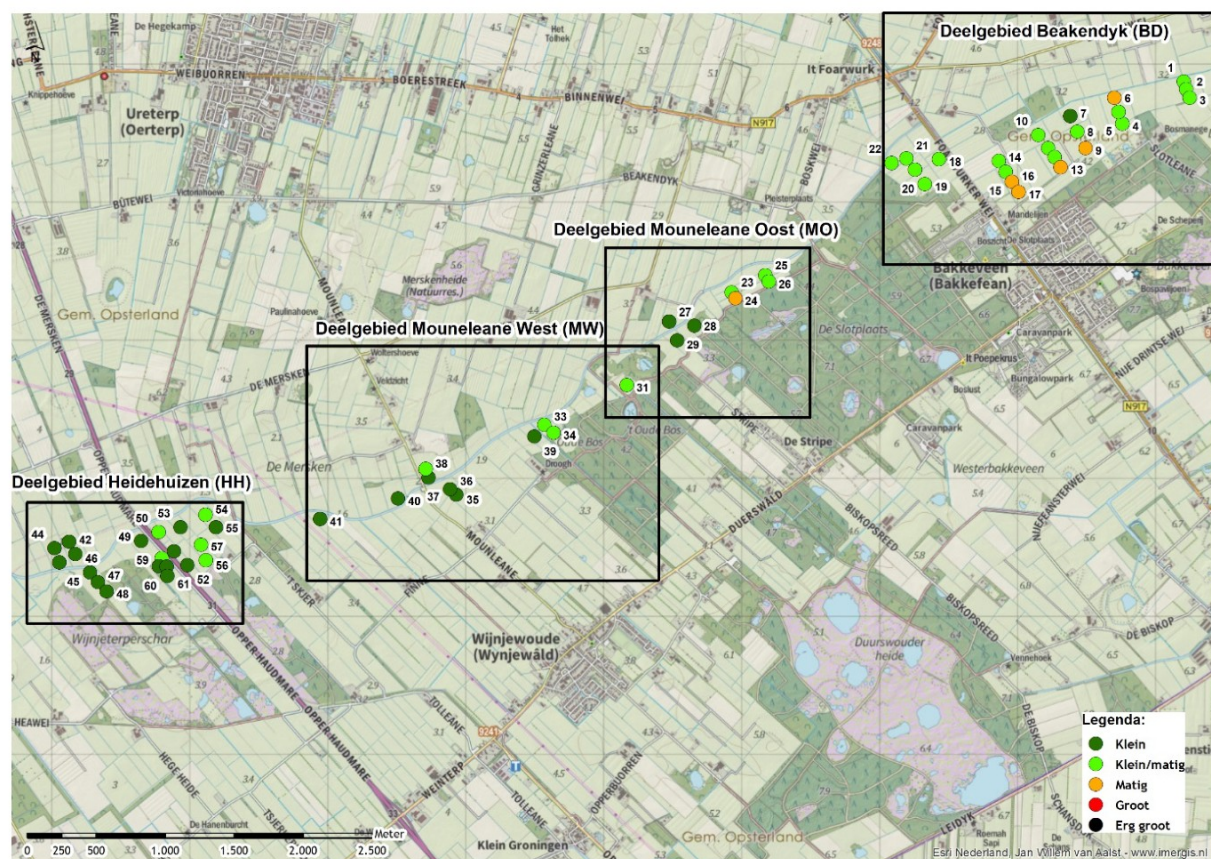
Figuur 57. Relatie tussen de ijzer/fosfor-ratio en de fosforconcentratie in het poriewater voor Nederlandse waterbodems (1185 locaties). Het risico op nalevering is klein wanneer de fosforconcentratie in het poriewater lager is dan circa $10 \mu\text{mol/l}$ (groen) en groot vanaf circa $100 \mu\text{mol/l}$ (rood). Daar tussenin is de mate van nalevering sterk afhankelijk van de zuurstofconcentratie in het oppervlaktewater en de ijzer/fosfor-ratio in het poriewater. De ijzer/fosfor-ratio is gunstig boven een ratio van 5 (doorgetrokken lijn) en ongunstig onder een ratio van 1 (gestreepte lijn). Geel omcirkeld is de globale range van de Koningsdiep bodems weergegeven.

Op basis van deze data kunnen we stellen dat er op locaties met een Olsen-P concentratie $>2200 \mu\text{mol/l}$ (in combinatie met een FVG $> 30\%$) een risico bestaat op P-mobilisatie en -nalevering bij een verhoging van het peil of inundatie van de bodem (met name in de zomerperiode wanneer temperatuurgestuurde reductieprocessen een rol spelen). Dit geeft een risico op P-nalevering vanuit de bodem naar de waterlaag, wat tot een verslechtering van de waterkwaliteit kan leiden. Wanneer de waterlaag zuurstofarm wordt ($<2 \text{ mg/l}$) werkt de 'ijzerval' niet en kan fosfor uit de waterbodem naar de waterlaag diffunderen. Doordat de P-concentraties in het poriewater relatief laag zijn, zijn de consequenties voor de waterkwaliteit waarschijnlijk ook relatief beperkt.



In het Koningsdiep is dit risico (zeer) beperkt aangezien de Olsen-P concentratie van de toplaag, met uitzondering van locatie 24, <2200 µmol/l bedraagt en de Fe/P ratio over het algemeen >(2,5-) 6 is. De Fe/P ratio is het laagst in deelgebied Baekendyk en over het algemeen het hoogst in deelgebied Heidehuizen. De P-houdende bodems zijn over het algemeen ook (zeer) rijk aan ijzer.





Figuur 60. Overzicht van het risico op P-nalevering naar de waterlaag bij inundatie van de (voormalige) landbouwgronden op basis van de Fe/P ratio van de toplaag en het naleveringsexperiment. Bij een Fe/P ratio <2,5 mol/mol neemt de P-nalevering toe. Bij een Fe/P ratio > 6 mol/mol is het risico zeer klein.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Belangrijkste conclusies

- In het kader van de gebiedsontwikkeling Koningsdiep worden landbouwgronden omgevormd naar natuur. Om beter zicht te krijgen in de potenties ervan werd onderzoek uitgevoerd naar de bodemchemische condities in de huidige situatie en risico's na verhoging van de waterstanden. Op 61 locaties in het onderzoeksgebied werden daarvoor op verschillende diepten bodemonsters verzameld, een selectie van deze bodems is tevens gebruikt in een vernattingsexperiment. Op 10 goed ontwikkelde locaties werden referentiemonsters van de toplaag genomen. Daarnaast werd de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit eenmalig gemeten. Voor het hydrochemisch onderzoek werden 7 oppervlakte- en 7 grondwatermonsters verzameld. Het onderzoek is gericht op de voor eutrofie meest gevoelige doeltypen, te weten nat schraalland (N10.01; Figuur 2), vochtig hooiland (N10.02; Figuur 2) en droog schraalland (N11.01).
- De focus tijdens het bodemonderzoek ligt in eerste instantie op 1 á 2 dieptes (afhankelijk van de locatie in het beekdal) en lokaal 3 dieptes. Deze dieptes zijn aangegeven door de opdrachtgever. De focus ligt op de voedselrijkdom van de toplaag en de kansen door middel van een zeer beperkte ontgroning. Mede doordat men niet of slechts zeer beperkt wil ontgraven. Dit is de reden dat slechts een selectie van de verzamelde monsters is geanalyseerd, de overige monsters zijn tijdelijk opgeslagen indien aanvullende analyses nodig zijn in een mogelijk vervolgonderzoek. In totaal zijn 110 landbouw-bodemonsters, 19 referentie-bodemonsters en 14 watermonsters geanalyseerd.
- In het Koningsdiep werden 10 locaties bemonsterd om als een lokale referentie te dienen (zie Figuur 5 en Figuur 13). De referentielocaties zijn schrale, relatief goed ontwikkelde locaties. De referenties kunnen worden onderverdeeld in 3 clusters:
 - Cluster 1: locatie 30 en 32, gelegen in het midden van het gebied. De hoge calciumconcentraties in combinatie met de hoge ijzerconcentraties in dit cluster geven aan dat de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland en eventueel blauwgrasland op deze locaties verwacht kan worden onder de juiste hydrologische omstandigheden. De Olsen-P concentratie is voldoende laag ($<300 \mu\text{mol/l}$).
 - Cluster 2: locatie 62, 63, 64 en 65, gelegen in het noordelijk en lagergelegen gedeelte van het referentiegebied. De ijzerconcentraties en mate van buffering nemen af in de diepte. Op basis van de buffering van de bodem is een heischraalgrasland (locatie 62 en 65) of blauwgrasland (locatie 63 en 64) te verwachten onder de juiste hydrologische en P-gelimiteerde condities. Op locatie 62, 64 en 65 werden licht verhoogde fosfaatconcentraties in de toplaag gemeten waardoor circa 5-15 jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist is.
 - Cluster 3: locatie 66, 67, 68 en 69, gelegen in het zuidelijk en hoger gelegen gedeelte van het referentiegebied. De bodemchemische condities laten zien dat de ontwikkeling van een heide of heischraalgrasland te verwachten is onder de juiste hydrologische en P-gelimiteerde condities. Lokaal is de bodem nog licht (locatie 66 en 67) of matig verrijkt (locatie 69) met fosfaat waardoor 10-15 jaar of 30 jaar maaien en afvoeren vereist is voor het creëren van P-gelimiteerde condities.
 - Voor elk cluster geldt: op plekken waar de toplaag voldoende verschralld is maar nog steeds sprake is van een soortenarme zode kan het plaggen van de zode (5 cm) in

.....
combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentiegebied een geschikte maatregel zijn ter bevordering van de soortenrijkdom.

- Het bodemtype in het Koningsdiep is zeer wisselend. Er zijn zand-, veen-, leem- en kleibodems aangetroffen op de verschillende locaties en op verschillende dieptes. Zie bijlage 1 voor de boorprofielen per locatie. De ruimtelijke variatie wordt per deelgebied inzichtelijk gemaakt in Figuur 14 t/m Figuur 17.
- De buffering vanuit het beekdal naar de flanken biedt vooral kansen voor de ontwikkeling van een blauwgrasland en heischraalgrasland (beiden nat schraalland N10.01). Op zuurdere zandbodems kan daarnaast heide tot ontwikkeling komen en op meer gebufferde, ijzerrijke bodems dotterbloemhooiland. De ijzerconcentratie in de bodem lijkt de trend van het calcium te volgen: op calciumrijke plekken komt is ook veel ijzer aangetroffen. In Figuur 25 en Figuur 26 wordt de ruimtelijke variatie in de mate van buffering (Ca-t en Ca-z) van de toplaag weergegeven en in Figuur 27 de ruimtelijke variatie van ijzer in de toplaag. De opdrachtgever had qua doeltypen vooral de ontwikkeling van vochtig hooiland/ dotterbloemhooiland (langs de beek) en nat schraalland (op de flanken) voor ogen. De bodem in het onderzoeksgebied lijkt echter wat minder gebufferd en ijzerrijk waardoor de gradiënt er wat anders uit komt te zien. Hierbij kan gedacht worden aan blauwgrasland en vochtig heischraalgrasland op de vochtige locaties. Op de natte locaties is de ontwikkeling van een kleine zeggengemeenschap of een trilveen/rietmoeras waarschijnlijker. Bij drogere condities zal zich eerder een droog heischraalgrasland of kruiden- en faunarijkgasland ontwikkelen. Feit blijft echter dat er veel kansen liggen voor de ontwikkeling van hoogwaardige, soortenrijke natuurtypen onder voldoende voedselarme en de juiste hydrologische condities.
- De toplaag van de bodems (0-20 cm-mv) zijn over het algemeen slechts beperkt tot matig verrijkt met fosfaat. De totaal-P concentraties variëren sterker, mede doordat de ijzerconcentraties lokaal sterk variëren. Er lijkt sprake van relatief extensief gebruikte percelen. Dit zien we ook terug in de overwegend relatief lage P-z en lokaal slechts beperkt verhoogde nitraatconcentraties in de toplaag (dit is positief voor een kruidenrijke ontwikkeling). Daarnaast is de fosfaatverzadigingsgraad overwegend circa 12-28%. Dit is eveneens relatief laag. De globale trends in de diepte worden weergegeven in Figuur 24.
- De per locatie beschreven kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke vegetatietypen worden in Tabel 17 samengevat en in grafisch Figuur 50 (globaal overzicht van zeer kansrijke, kansrijke en minder kansrijke locaties) weergegeven. De locaties zijn op basis van de beschikbare data en expert judgement verdeeld in drie categorieën:
 1. Zeer kansrijk: de toplaag van de bodem is reeds voldoende voedselarm, het verwijderen van de zode (5 cm; mits soortenarm) volstaat in combinatie met het opbrengen van maaisel uit een referentieterrein *;
 2. Kansrijk: door middel van gerichte (en relatief beperkte) maatregelen (tot 40 jaar maaien en afvoeren en/of tot maximaal 30 cm ontgronden) kunnen voldoende voedselarme condities worden gecreëerd voor de ontwikkeling van de beoogde doelvegetatie *;
 3. Niet kansrijk: de bodem is te voedselrijk en/of te diep verrijkt met fosfaat dat het bijstellen van de ambities en het inzetten op de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijkgasland de meest voor de hand liggende keuze is.

Tabel 17. Overzichtstabel van de kansen voor natuurontwikkeling op de verschillende locaties in Koningsdiep. GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand; GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand (* = >60 cm-mv (droge locatie; GLG/GHG werden afgeleid uit het boorprofiel)); Toplaag = benodigde jaren maaien en afvoeren voor fosfaatgelimiteerde vegetatie; Bt = type bodem toplaag; Potentie-top = kansrijke vegetatieontwikkeling op de huidige toplaag; Ontgronding = ontgrondingsmogelijkheden in cm-mv (? = waarschijnlijke optie maar nog niet geanalyseerd; + = aanvullende verschralling benodigd; zwart: tot 30 cm ontgronding, **rood**: >35 cm ontgronding); Bo = type bodem na ontgronding; Bo2 = type bodem na ontgrondingsoptie 2; Aanvullend = advies voor aanvullende analyses (zwart: interessant i.v.m. ontgrondingsoptie tot 30 cm; **rood**: diepe bodemlaag (ontgronding >30 cm-mv)); Potentie-ont = kansrijke vegetatieontwikkeling na ontgronding; Kansrijkdom = 1: zeer kansrijk, 2: kansrijk (relatief beperkte maatregelen noodzakelijk) en 3: niet kansrijk (kruiden- en faunarijkgasland). De volgende afkortingen zijn gebruikt: HEI = heide; HSG = heischraalgrasland; BLG = blauwgrasland; DBH = dotterbloemhooiland; KFG = kruiden- en faunarijkgasland; ? = vegetatie nog onbekend (i.v.m. ontbreken bodemchemische analyses). De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Potentie toplaag				Geschikt		<10 jaar verschrallen	11-40 jaar verschrallen		>40 jaar (KFG)				
Bodem				zand		klei/leem		veen					
Cluster	Nr	GLG	GHG	Toplaag	Bt	Potentie-top	Ontgronding	Bo	Bo2	Aanvullend	Potentie-ont	Kansrijkdom	
1BD	1	130	70*	47(+)		KFG	-20? / -35?			20-35; 35-45	?	2	
	2	120	70*	38		KFG (BLG)	-20(+)/ -30?			30-40	BLG	2	
	3	120	70*	0		BLG*	Zode			-		1	
2BD	4	150	80*	39(+)		KFG (BLG)	-20?/-35?			20-35; 35-45	?	2	
	5	130	70*	31		KFG (BLG)	-20			-	BLG	2	
	6	120	40	0		BLG	Zode			-		1	
	7	130	70*	0		HSG	Zode			-		1	
	8	140	70*	0		BLG	Zode			-		1	
	9	>150	90*	99(+)		KFG	-20? / -35?			20-35; 35-45	?	2	
3BD	10	150	100*	43		KFG (BLG)	niet aanbevolen			-		3	
	11	130	70*	105		KFG	-35?			35-45	?	3	
	12	>150	100*	68		KFG	-40+			-	BLG	3	
	13	>150	>150*	67		KFG	-45?			45-55	?	3	
	14	>150	80*	70(+)		KFG	-40?			40-50	?	3	
	15	140	70*	89		KFG	-30?/-45?			30-45; 45-55	?	3	
	16	150	90*	42		KFG	-45?			45-55	?	3	
	17	150	90*	40(+)		KFG	-30?; -45?			30-45; 45-55	?	3	
4BD	18	90	30	69		KFG	-20; -35			-	BLG	2	
	19	>150	>150*	46		KFG	-20? -30			20-30	BLG	2	
	20	>150	110*	50		KFG	-15+/- -30?			30-45	BLG	2	
	21	90	55	24		KFG (BLG)	-20/ -30?			30-45	BLG	2	
	22	150	90*	44(+)		KFG	-20?/ -30?			20-30; 30-40	?	2	
1MO	23	130	70*	45(+)		KFG	-30?/ -45?			30-45; 45-55	?	3	
	24	140	90*	55		KFG	-30?/ -45?			30-45; 45-55	?	3	
	25	130	70*	59(+)		KFG	-20?/-40?			20-40; 40-50	?	3	
	26	130	70*	30		KFG (BLG)	-40?			40-50	?	3	
2MO	27	90	40	? (Fe)		KFG (DBH)	-20			-	DBH	2	
	28	120	60	42(+)		KFG	-20?/ -30?			20-30; 30-40	?	2	
	29	100	30	50		KFG	-20			-	BLG/DBH	2	
	31	130	55	17		KFG (HSG)	-15			-	HEI	2	

Cluster	Nr	GLG	GHG	Toplaag	Bt	Potentie-top	Ontgronding	Bo	Bo2	Aanvullend	Potentie-ont	Kansrijkdom
1MW	33	90	20	74(+)		KFG	-20? / -30?			20-30; 30-40	?	2
	34	90	20	46		KFG	-35?			35-50	?	3
	39	100	40	66(+)		KFG	-20?/ -30?			20-30; 30-40	?	2
2MW	35	100	30	54		KFG	-40			-	BLG	2
	36	120	20	0		BLG	Zode			10-30; 30-40		1
	37	120	60	36		KFG (BLG)	-20+/- -30			-	HSG	2
	38	130	60	82		KFG	-20+/- -30?			30-40	?	2
3MW	40	80	20	0		BLG	Zode			-		1
	41	90	30	2		BLG	Zode			20-35		1
1HH	42	80	40	0		BLG/DBH	Zode			-		1
	43	90	30	0		BLG/DBH	Zode			-		1
	44	100	40	0		BLG	Zode/ -15			15-25	BLG/DBH	1
	45	130	70*	39		KFG (BLG)	-20?/ -35?			20-35; 35-45	?	2
2HH	46	100	50	20		KFG (BLG)	-20/ -35?			20-35; 35-45	?	2
	47	110	30	105		KFG	-20(+)			-	HEI	2
	48	140	40	107		KFG	-20			-	HEI/HSG	2
3HH	49	70	10	0		BLG	Zode			-		1
	58	110	30	18		KFG (HSG)	-15			-	HEI/HSG	2
	59	80	10	0		BLG	-5/ -15			-	BLG	2
	60	80	30	8		BLG	-15			-	BLG	2
	61	85	20	0		BLG	Zode			-		1
4HH	50	90	30	136		KFG	-20/ -30?			30-40	KFG/DBH	2
	51	140	50	58		KFG	-30?			30-40	?	2
	52	100	50	0		BLG	Zode/ -20			-	BLG	1
	53	80	30	90		KFG	-20?/ -30?			20-30; 30-40	?	2
	54	100	30	25		HSG/HEI	-30?			30-40	?	2
	55	80	20	20		HSG	-15			-	BLG	2
	56	110	80*	66		KFG	-35			-	BLG	2
	57	-	-*	79		KFG	-30			-	BLG	2

- Dit onderzoek is gericht op het in kaart brengen van de verschrallingsmogelijkheden en natuurligpotenties op basis van de bodemchemische omstandigheden. Het vormt de basis voor het op te stellen inrichtingsplan. Dit maakt geen onderdeel uit van de opdracht. Een eventuele ontgronding kan een geschikte maatregel zijn om de biogeochemische omstandigheden te optimaliseren, maar dient altijd te worden getoetst op de inpassing in het systeem. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van deze opdracht. Wel vormen de resultaten van dit project een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.
- Welke natte natuurbuuretypen zich daadwerkelijk in het gebied kunnen ontwikkelen is onder andere afhankelijk van de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater. Het kwantitatieve hydrologische aspect maakt geen/ zeer beperkt onderdeel uit van het onderzoek. De ruimtelijke variatie van de gemiddeld laagste (GLG) en gemiddeld hoogste (GHG) grondwaterstand die per locatie werd afgeleid uit het bodemprofiel wordt weergegeven in

.....

Figuur 18 t/m Figuur 20. De verschillen zijn relatief groot. In het deelgebied Beakendyk zijn de grondwaterstanden relatief laag. Voor de ontwikkeling van vochtige tot natte natuurtypen zijn hier forse hydrologische maatregelen vereist. In de deelgebieden Mouneleane Oost en West zijn hogere grondwaterstanden aangetroffen en in deelgebied Heidehuizen zijn relatief de hoogste grondwaterstanden aangetroffen. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van vochtige tot natte natuurtypen in combinatie met hydrologische maatregelen en/of een beperkte ontgronding waarmee het maaiveld dicht bij het grondwater komt te liggen.

- Voor het hydrochemisch onderzoek werden 7 grondwater- en 7 oppervlaktewatermonsters in het gebied verzameld en geanalyseerd (zie Figuur 21). De resultaten worden weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6. De ruimtelijke variatie in waterkwaliteit van enkele relevante parameters wordt weergegeven in Figuur 22 en Figuur 23.
- Alle oppervlaktewatermonsters zijn genomen in het Koningsdiep, van het oosten naar het westen in stroomafwaartse richting van OW1 tot OW7. De pH en de mate van buffering (HCO_3^- en Ca) van het oppervlaktewater nemen stroomafwaarts toe (zie Tabel 5). Doordat het oppervlaktewater relatief arm is aan fosfaat, nitraat en sulfaat lijken eventuele inundaties met beekwater niet direct een risico te vormen voor de beoogde natuurtypen. Dit betreft slechts een eenmalige waterkwaliteitsmeting in de zomer.
- Het grondwater in het gebied bevat relatief weinig fosfor (0,1-2,1 $\mu\text{mol/l}$). De relatief lage fosforconcentraties in het gebied zijn gunstig voor de beoogde natuurontwikkeling. Ook de mate van buffering is geschikt voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld nat schraalland en/of vochtig hooiland. Het grondwater is slechts lokaal nog ijzerrijk. Op basis van de gemeten sulfaatconcentraties wordt aanbevolen voldoende doorstroming te genereren wanneer vernattingsmaatregelen worden uitgevoerd. Het grondwater is geschikt voor de beoogde natuurontwikkeling, al betreft dit slechts een eenmalige zomermeting.
- Voor het naleveringsexperiment werden 33 glazen kolommen gevuld met 10 cm bodemmateriaal en onder water gezet. Na 7 en 10 weken werd poriewater verzameld om de effecten van vernatting te kunnen vaststellen. Na 10 weken werd ook het oppervlaktewater bemonsterd en geanalyseerd. De resultaten van dit onderzoek worden gepresenteerd in de volgende conceptrapportage. Het geeft een beeld van de risico's op P-mobilisatie bij vernatting en de daarmee gepaard gaande risico's op verzuuring en verslechtering van de waterkwaliteit. Op 21 oktober heeft de laatste meting plaatsgevonden. We verwachten de resultaten over 3-4 weken waarna we deze uitwerken en in de rapportage opnemen.

7.2 Aanbevelingen

- Na afgraving van de P-rijke toplaag, het verwijderen van de zode of het bereiken van de gewenste verschraving (na verwijdering van de dichte soortenarme zode) wordt geadviseerd maaisel en/of plagsel uit een referentieterrein (heide, heischraalgrasland, blauwgrasland, dotterbloemhooiland of kruiden- en faunarijkgasland) 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 te creëren voor de beoogde doelsoorten. Het zorgt er bovendien voor dat extra organisch materiaal wordt ingebracht na ontgraving en remt de ontwikkeling van algemene (ruigte)soorten. De eerste jaren na herintroductie volstaat het klepelen van de vegetatie. Bij een dichtere zode wordt maaien en afvoeren geadviseerd. Zie paragraaf 2.4 en

4.5 voor aanvullende informatie omtrent het aanvullend beheer wanneer de gewenste verschraling is bereikt. Het is een maatregel die behoorlijk wat regelwerk en afstemming vereist maar het is wel dé manier om de potenties te benutten en ervoor te zorgen dat alle voorgaande werkzaamheden en investeringen niet voor niets zijn geweest.

- Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals dotterbloemhooilanden is grondwaterinvloed in de wortelzone of het maaiveld vereist van circa oktober/november t/m maart/april. In verband met het veranderende klimaat (extremere weersomstandigheden) wordt geadviseerd de hydrologische omstandigheden regelbaar te maken met behulp van kleine stuwtjes (flexibiliteit in water vasthouden en afdalen creëren). Dit vergt maatwerk per perceel en dient te worden geoptimaliseerd zodra de inrichtingswerkzaamheden zijn uitgevoerd.
- In het onderzoek zijn puntmetingen in de diepte uitgevoerd (de top laag betreft een mengmonster). De locaties werden vastgesteld door de opdrachtgever. Het bodemprofiel kan lokaal sterk variëren waardoor het bij eventuele ontgrondingswerkzaamheden belangrijk is om voldoende toezicht op de uitvoering te houden waarbij gecontroleerd wordt of daadwerkelijk de vereiste bodemlagen/-horizonten worden verwijderd. Bij de raming van de kosten kan het hierdoor raadzaam zijn om enkele 'flexibele kuubs' af te voeren grond op te nemen.
- Het maken van de juiste keuzes per cluster is complex. Meerdere factoren zullen hierop van invloed zijn. In de loop van dit proces dienen de bodemchemische condities continue een belangrijk uitgangspunt te vormen. We beseffen ons dat dit specialistische kennis is waardoor het lastig is om consequenties van specifieke keuzes in te schatten. Indien gewenst kunnen we een keer aansluiten bij een overleg om de gemaakte plannen nog eens te toetsen aan de bodemchemische bevindingen en hiermee de keuzes en ontwikkelingsmogelijkheden te optimaliseren.

7.3 Aanvullende metingen

- Om de 'puzzel' in het onderzoeksgebied compleet te maken en per locatie de juiste keuzes te kunnen maken worden de volgende aanvullende analyses van bodemonsters (liggen reeds in de koelcel bij Onderzoekcentrum B-WARE) en watermonsters geadviseerd:
 - Categorie 2 (kansrijk; Figuur 50 en Tabel 17) betreft locaties die goede ontwikkelingsmogelijkheden lijken te hebben na gerichte, relatief beperkte, maatregelen (tot 40 jaar maaien en afvoeren en/of tot maximaal 30 cm ontgronden). Echter om dit met zekerheid vast te kunnen stellen zijn lokaal aanvullende analyses nodig. In de clustertabellen (Tabel 9, Tabel 11, Tabel 13 en Tabel 15) en Tabel 17 worden deze aanvullende analyses genoemd. De in het zwart weergegeven bodemlagen hebben betrekking op een ontgroning van maximaal 30 cm (31 aanvullende bodems). Analyses dieper dan 30 cm-mv (rood in verzameltabel) lijken niet reëel in dit gebied (>30 cm ontgroning vereist; 17 aanvullende bodems). Voor de locaties van categorie 3 wordt geadviseerd om de ambities bij te stellen en in te zetten op de ontwikkeling van kruiden- en faunairijk grasland.
 - Voor de aanvullende bodemanalyses volstaat (om de kosten te beperken) het uitvoeren van een Olsen-extractie en destructie. Op basis van de totaal-Ca concentratie kan, door een sterke correlatie, de concentratie uitwisselbaar calcium (relevant voor de specificatie van de natuurlimieten) worden berekend.

- Naast het uitvoeren van enkele aanvullende bodemanalyses kan het ook erg waardevol zijn om beperkte aanvullende hydrologische metingen uit te voeren. De huidige metingen zijn uitgevoerd gedurende de zomerperiode. Hierdoor missen we informatie over de situatie in de winter. In de winterperiode is het grondwatersysteem meer op druk en we zijn benieuwd naar de ijzerconcentraties en eventuele uitspoelingseffecten uit de landbouw. Hierbij kan gedacht worden aan een extra meting op de grondwaterlocaties en circa 3 oppervlaktewaterlocaties. In totaal betreft dit 10 watermonsters.

.....

8. 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.
- Lamers L.P.M., H.B.M. Tomassen & J.G.M. Roelofs (1998) Sulfate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology* **32**: 199-205.
- 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.
- Schippers, W. (2012) Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. *Samenwerkende Uitgevers Vof*.
- Scherpenisse, M.C., E. Verbaarschot, B. Timmermans, R. Bobbink & P.J.M. Verbeek (2017) Graslanden in Overijssel. Advies voor kwaliteitsverbetering van kruiden- en faunarijk grasland. Natuurbalans - Limens Divergens BV, Nijmegen.
- Schoumans, O. (2004) Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.4. 50 blz.; 11 fig.; 5 tab.; 35 ref.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm, M. Pleijter (2008). Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden; PLEASE: technische beschrijving. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1724. 76 blz.; 22. Fig.; 4 tab.; 83 ref.
- 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.
- Smolders A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. Van der Velde & J.G.M. Roelofs (2006) Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.
- 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.

9. BIJLAGEN

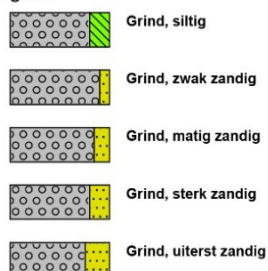
9.1 Bijlage 1 - Profielbeschrijvingen bodem

Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties in Koningsdiep. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door ATKB

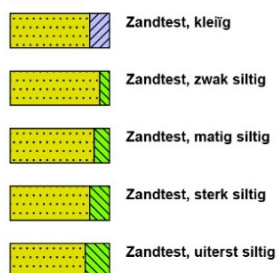
Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

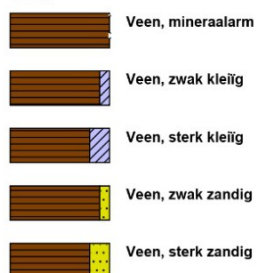
grind



zandtest



veen



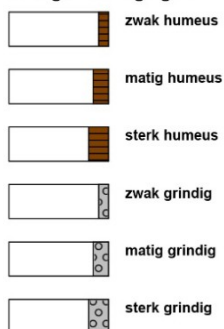
klei



leem



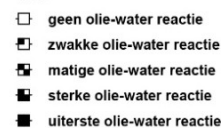
overige toevoegingen



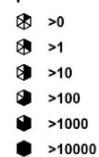
geur



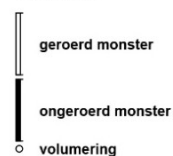
olie



p.i.d.-waarde



monsters



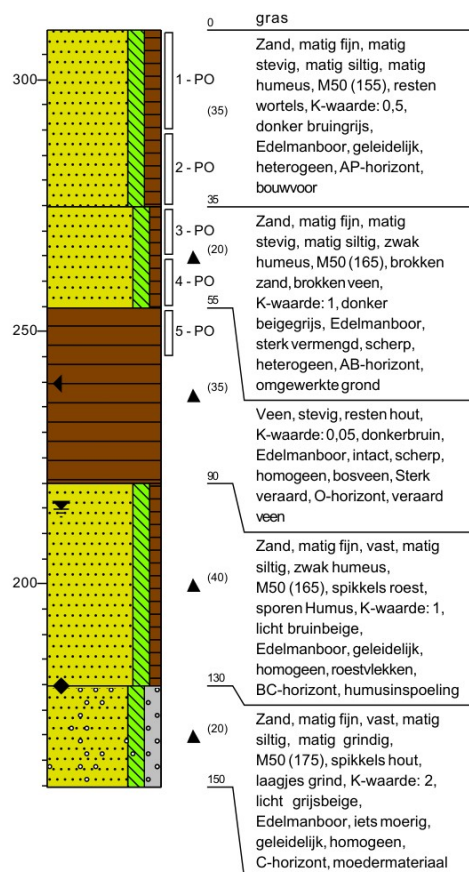
overig



Boring: 01

X: 214204,18
Y: 567874,37
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 95
GHG: 70
GLG: 130

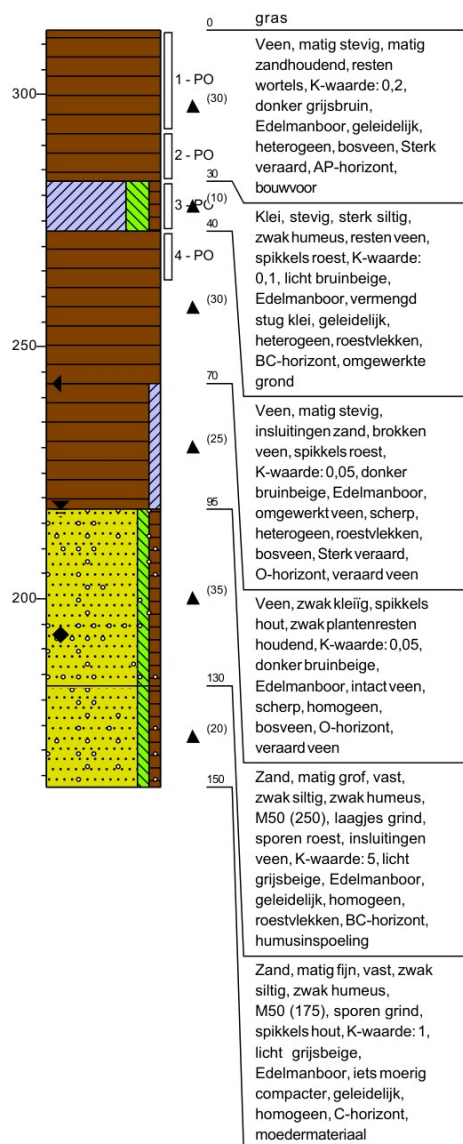
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,098



Boring: 02

X: 214223,32
Y: 567820,06
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 95
GHG: 70
GLG: 120

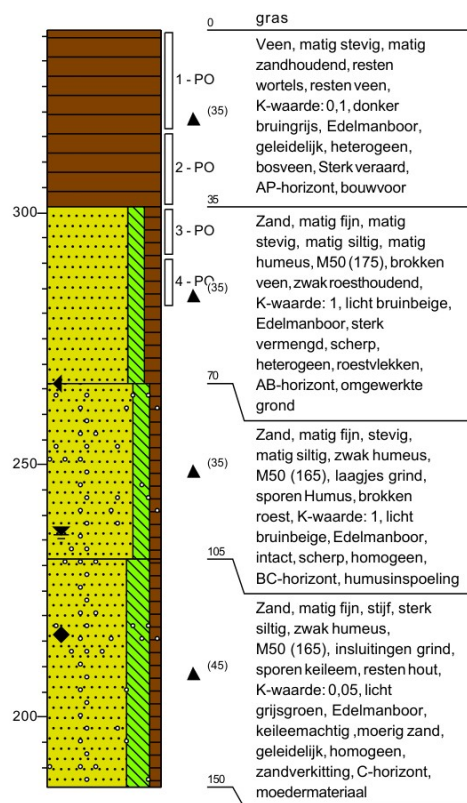
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,128



Boring: 03

X: 214247,13
Y: 567756,59
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 120

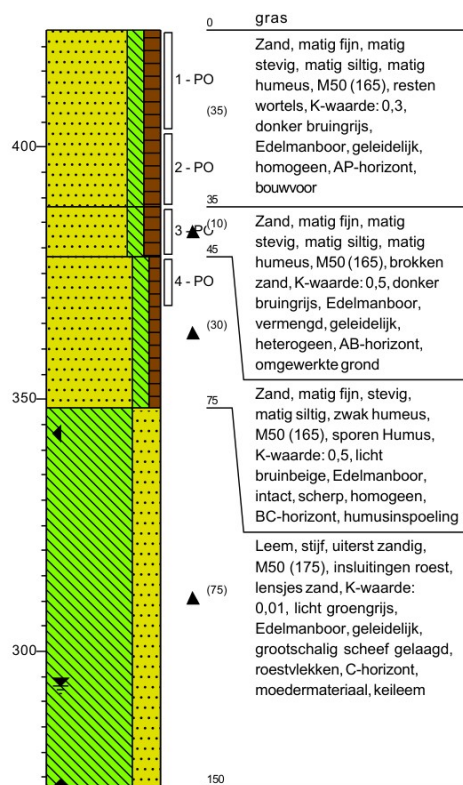
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,363



Boring: 04

X: 213758,73
Y: 567568,79
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 130
GHG: 80
GLG: 150

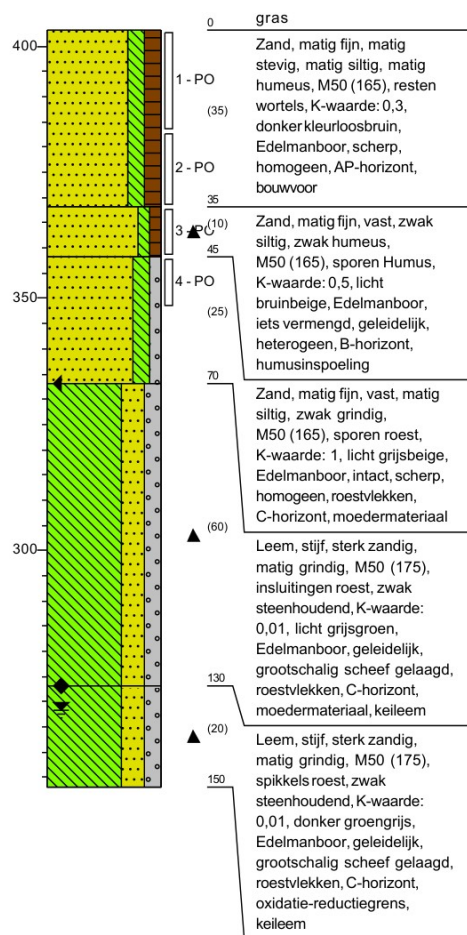
RTK, fixed integers
N.A.P.: 4,233



Boring: 05

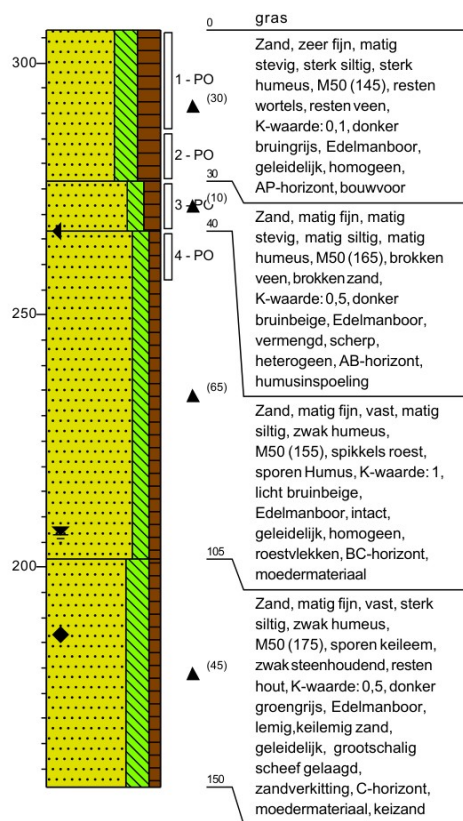
X: 213730,97
Y: 567653,88
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 135
GHG: 70
GLG: 130

RTK, fixed integers
N.A.P. : 4,033

**Boring: 06**

X: 213700,51
Y: 567757,37
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 40
GLG: 120

RTK, fixed integers
N.A.P. : 3,066



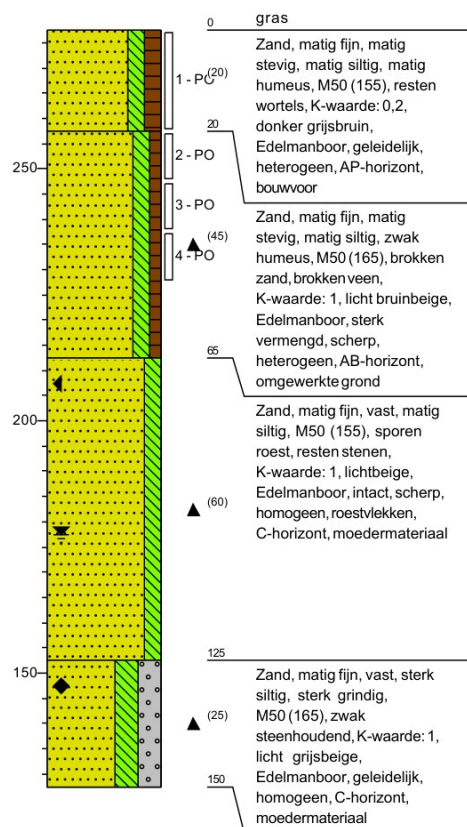
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 07

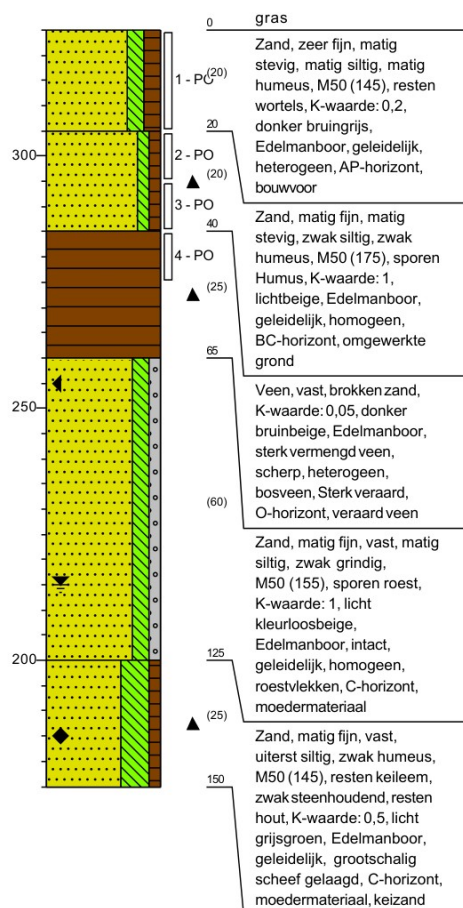
X: 213381,71
Y: 567625,47
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 130

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,775

**Boring: 08**

X: 213432,32
Y: 567510,82
Datum: 3-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 70
GLG: 140

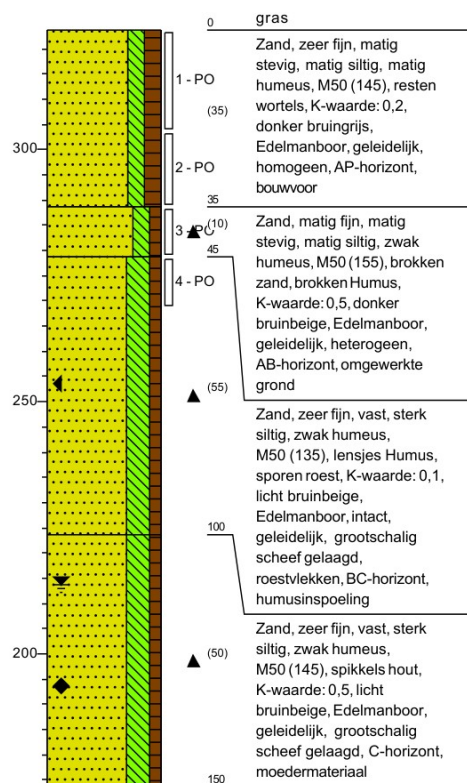
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,25



Boring: 11

X: 213220,75
Y: 567391,12
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 70
GLG: 130

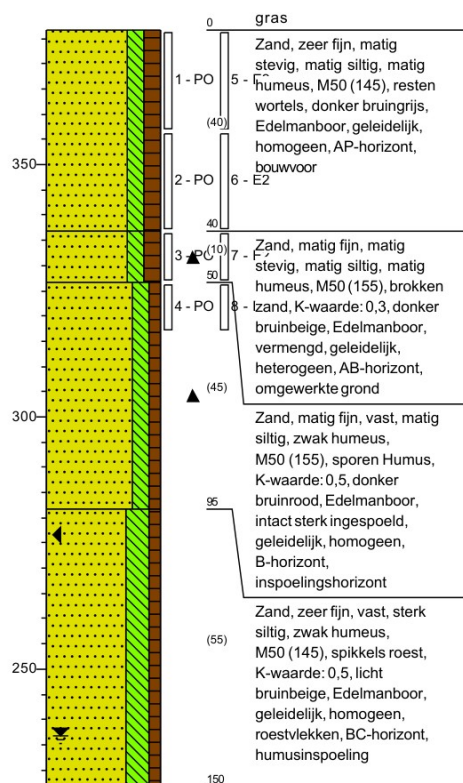
RTK, fixed integers
N.A.P. : 3,238



Boring: 12

X: 213269,56
Y: 567325,88
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 140
GHG: 100

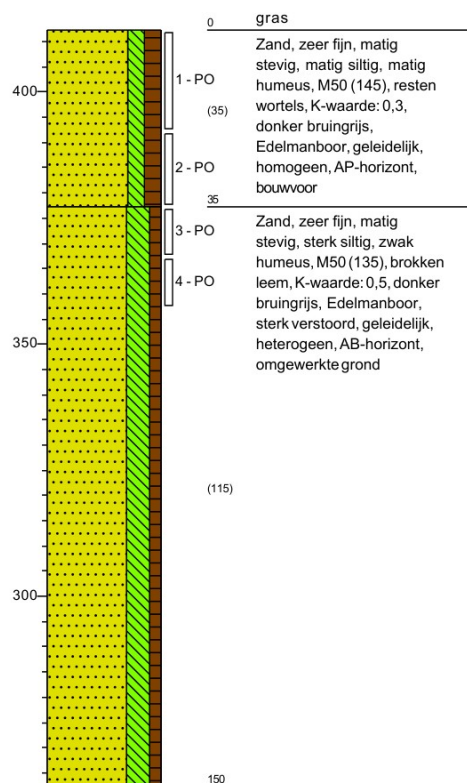
RTK, fixed integers
N.A.P. : 3,768



Boring: 13

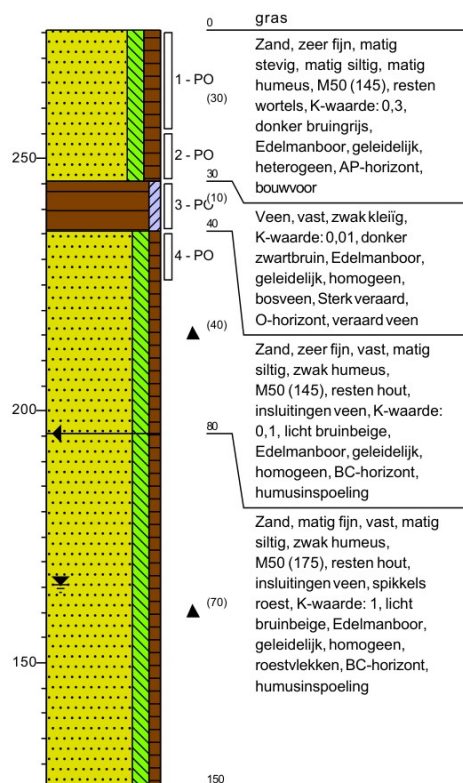
X: 213312,65
Y: 567255,07
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J

RTK, fixed integers
N.A.P. : 4,123

**Boring: 14**

X: 212864,49
Y: 567299,81
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 80

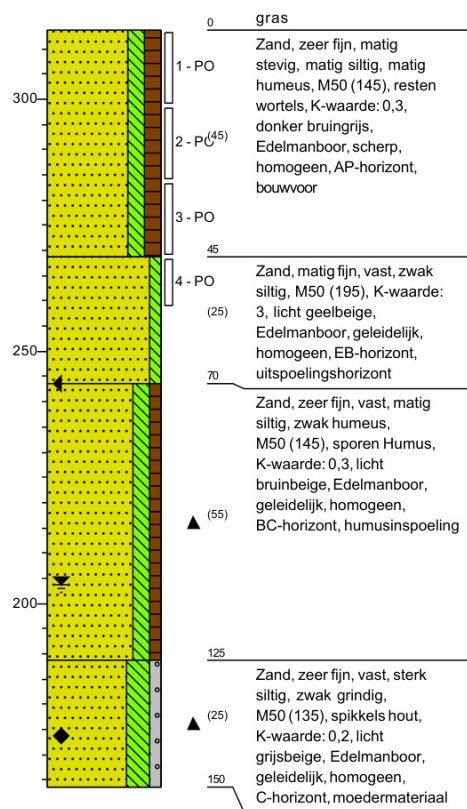
RTK, fixed integers
N.A.P. : 2,755



Boring: 15

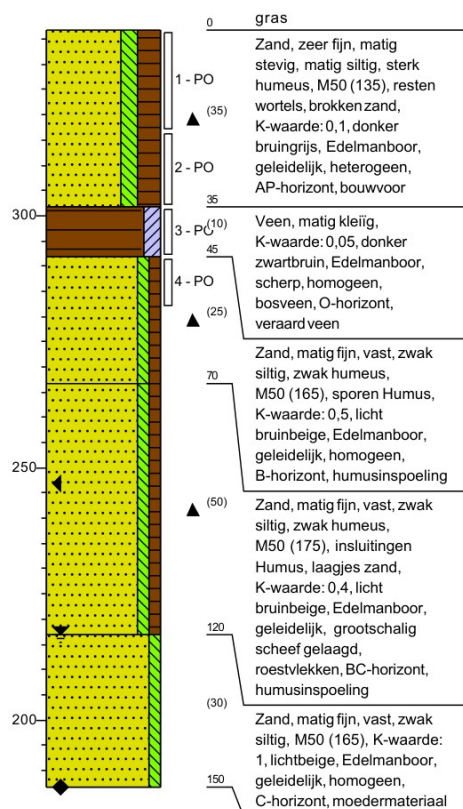
X: 212914,21
Y: 567220,78
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 70
GLG: 140

RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,137

**Boring: 16**

X: 212958,89
Y: 567148,59
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 120
GHG: 90
GLG: 150

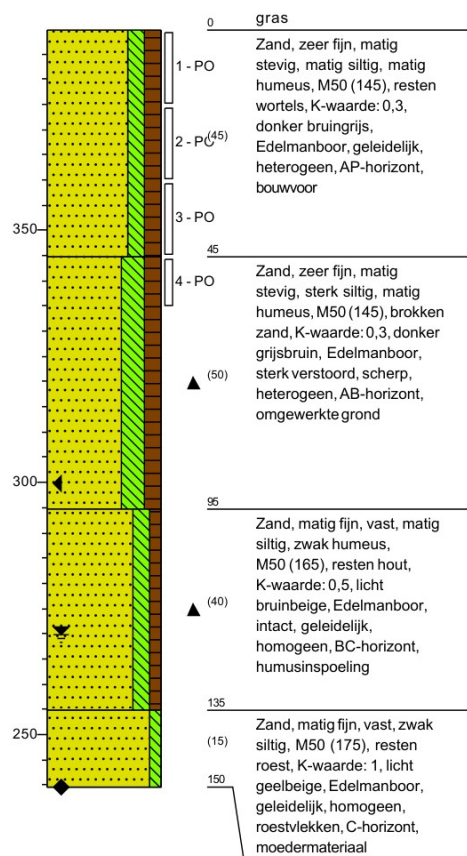
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,368



Boring: 17

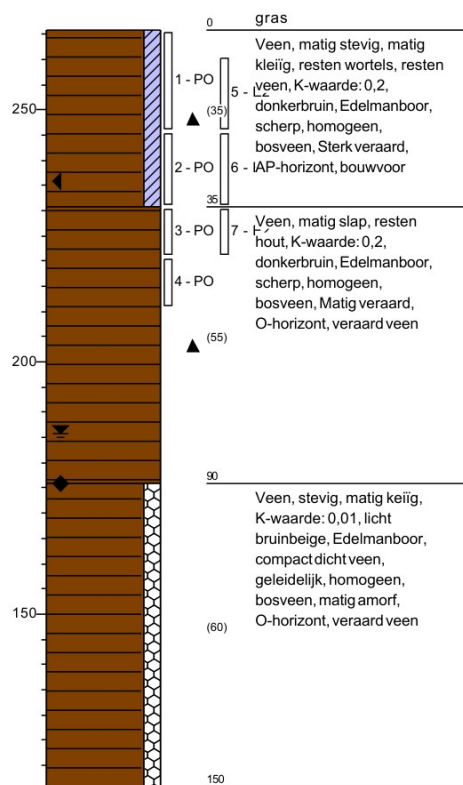
X: 213007,74
Y: 567073,84
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 120
GHG: 90
GLG: 150

RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,897

**Boring: 18**

X: 212430,28
Y: 567310,74
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 30
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,659



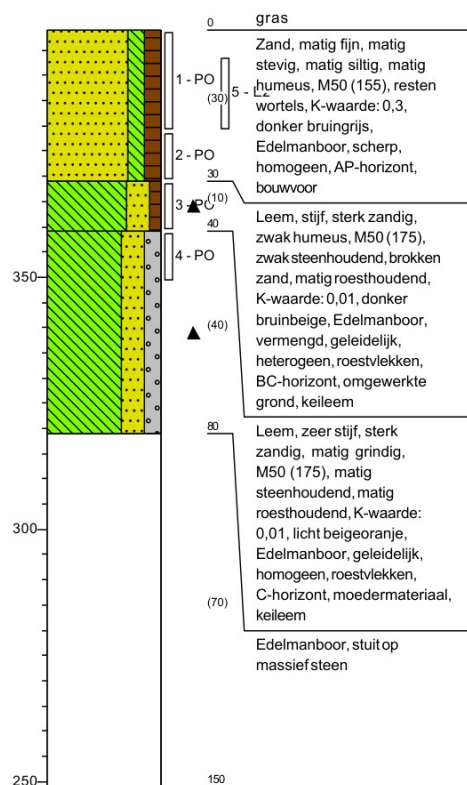
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 19

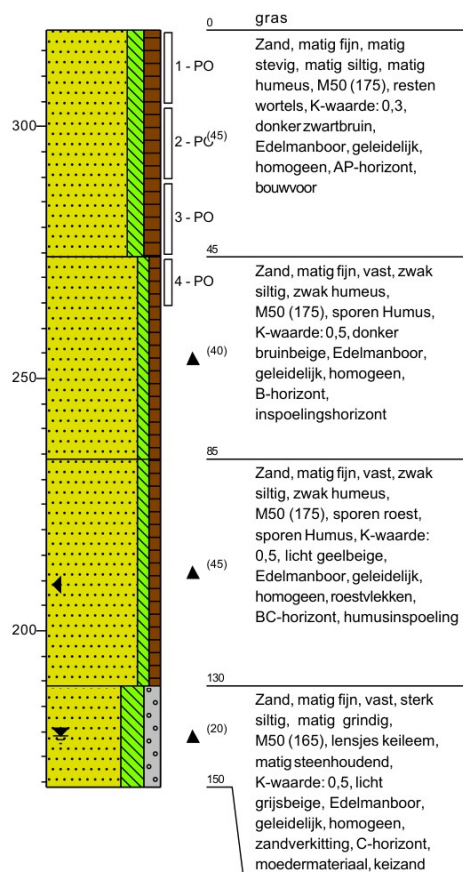
X: 212327,59
Y: 567132,41
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J

RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,991

**Boring: 20**

X: 212256,16
Y: 567236,68
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 140
GHG: 110

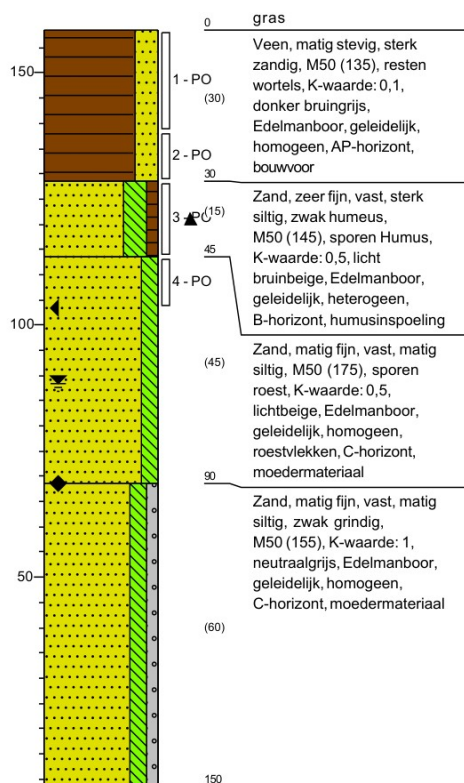
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,192



Boring: 21

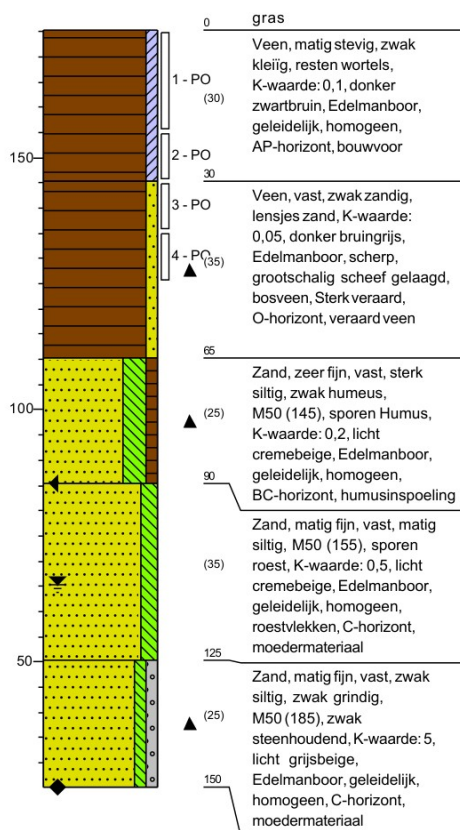
X: 212194,01
Y: 567316,95
Datum: 5-8-2020
Boormeester: 
GWS: 70
GHG: 55
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,586

**Boring: 22**

X: 212087,29
Y: 567285,37
Datum: 5-8-2020
Boormeester: 
GWS: 110
GHG: 90
GLG: 150

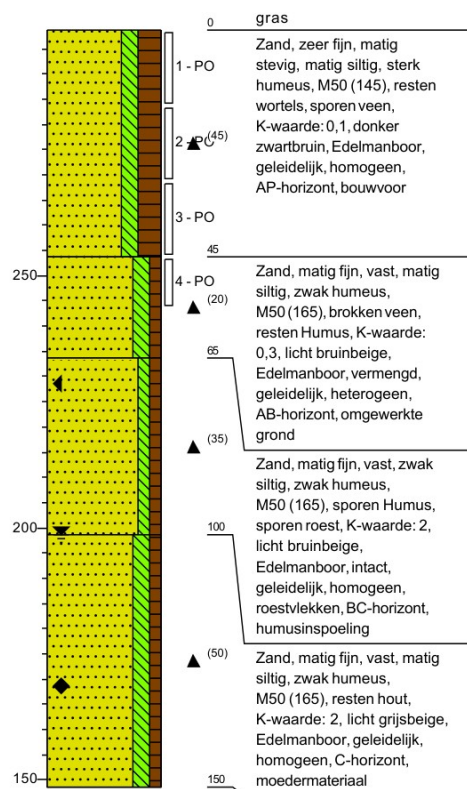
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,753



Boring: 23

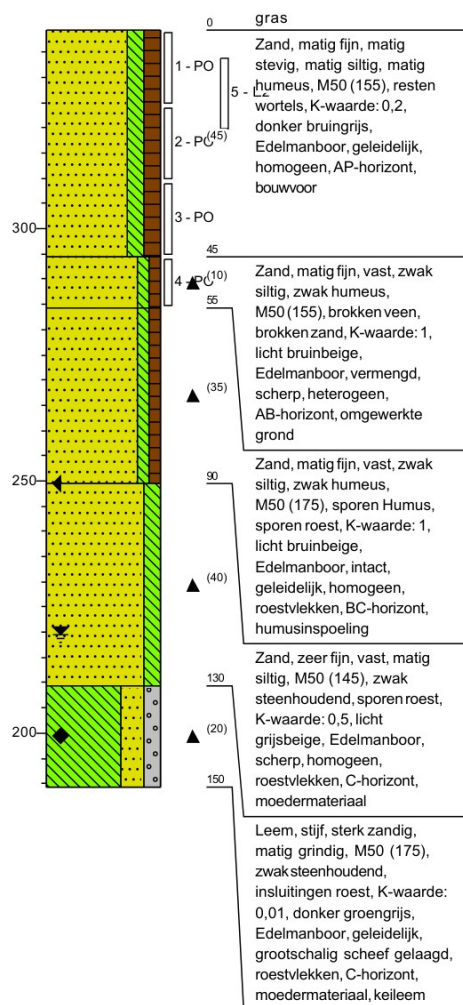
X: 210926,54
Y: 566345,87
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 130

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,988

**Boring: 24**

X: 210953,89
Y: 566303,55
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 120
GHG: 90
GLG: 140

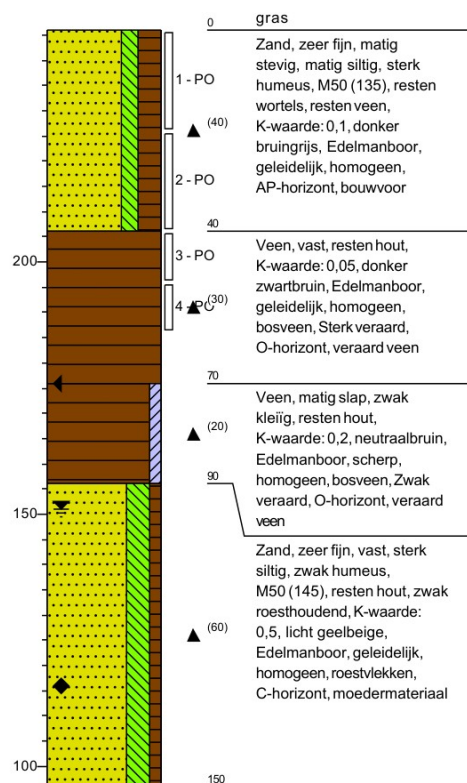
RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,394



Boring: 25

X: 211171,07
Y: 566470,80
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 95
GHG: 70
GLG: 130

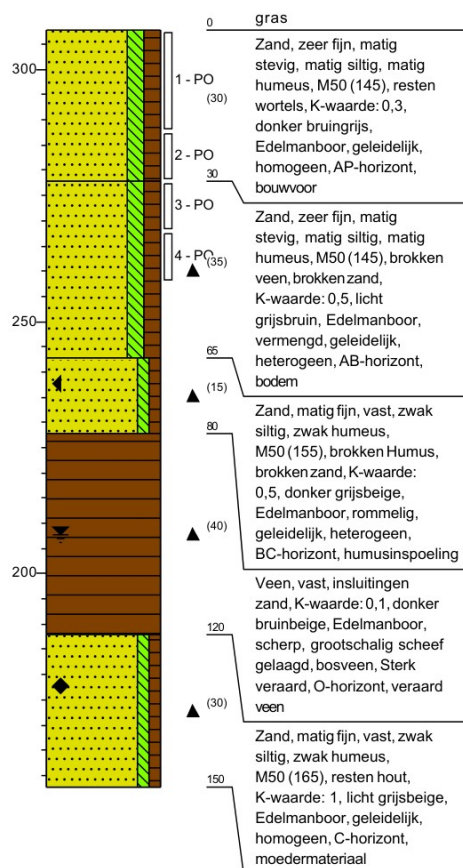
RTK, fixed integers
N.A.P. : 2,46



Boring: 26

X: 211197,13
Y: 566426,99
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 130

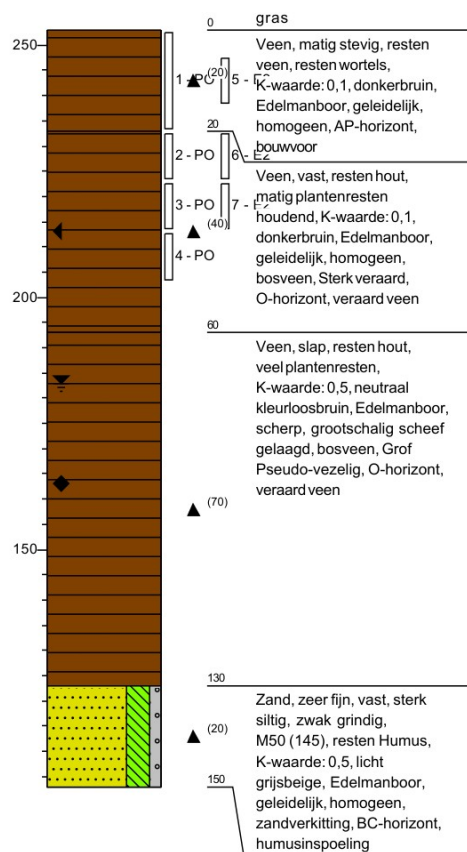
RTK, fixed integers
N.A.P. : 3,079



Boring: 27

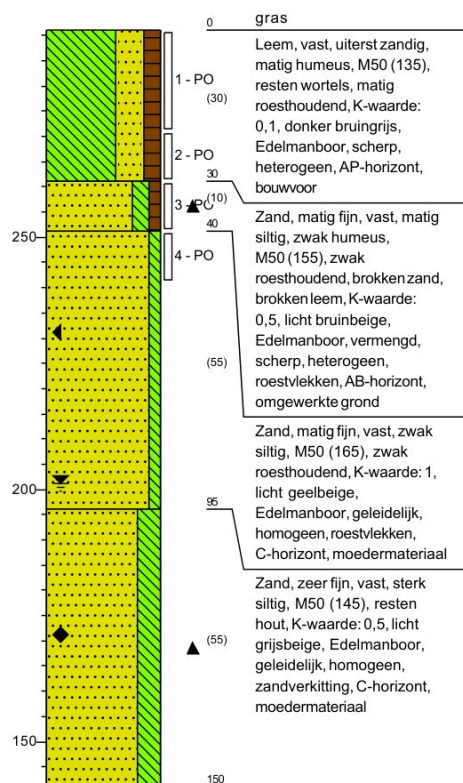
X: 210474,40
Y: 566136,52
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 40
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,531

**Boring: 28**

X: 210655,73
Y: 566106,42
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 90
GHG: 60
GLG: 120

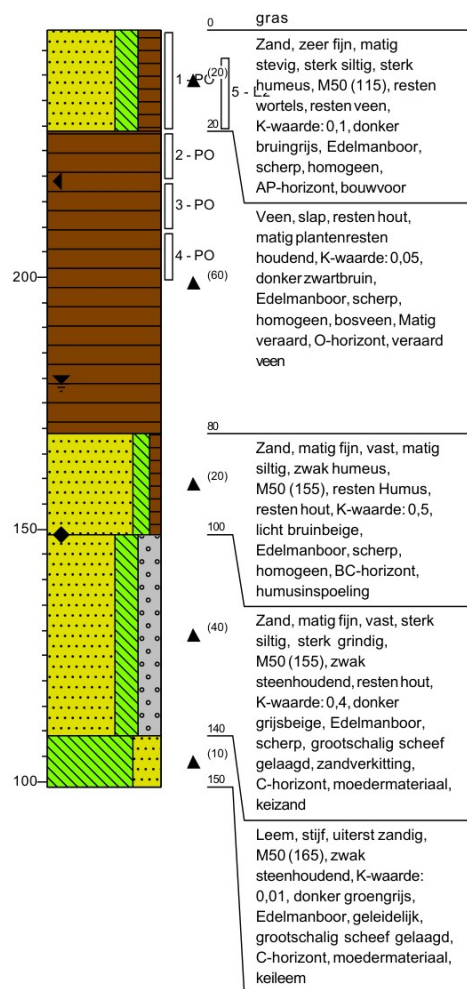
RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,911



Boring: 29

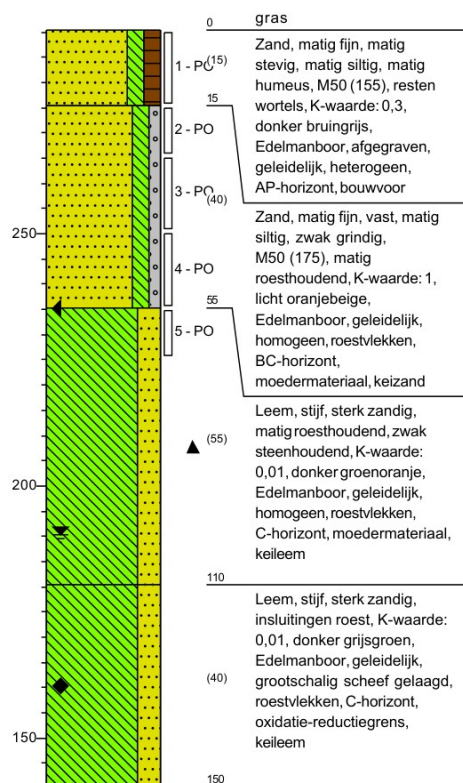
X: 210532,09
Y: 565999,86
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 100

RTK, fixed integers
N.A.P. : 2,49

**Boring: 31**

X: 210167,23
Y: 565677,56
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 55
GLG: 130

RTK, fixed integers
N.A.P. : 2,904



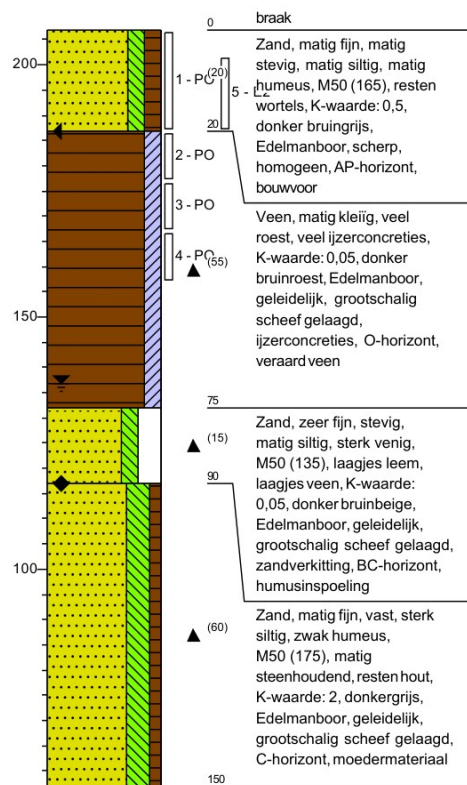
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 33

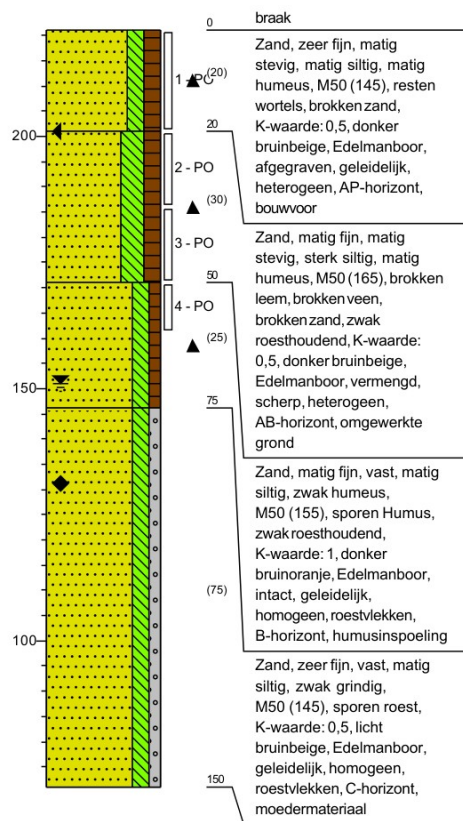
X: 209570,05
Y: 565390,05
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 20
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,07

**Boring: 34**

X: 209636,49
Y: 565332,94
Datum: 4-8-2020
GWS: 70
GHG: 20
GLG: 90

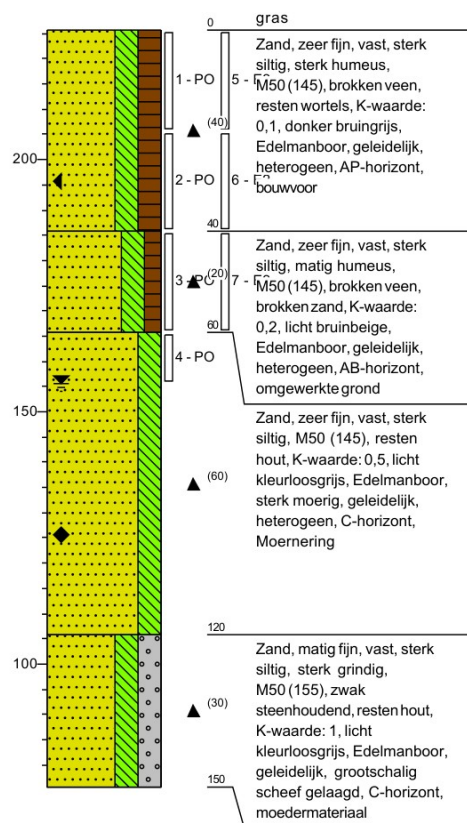
RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,212



Boring: 35

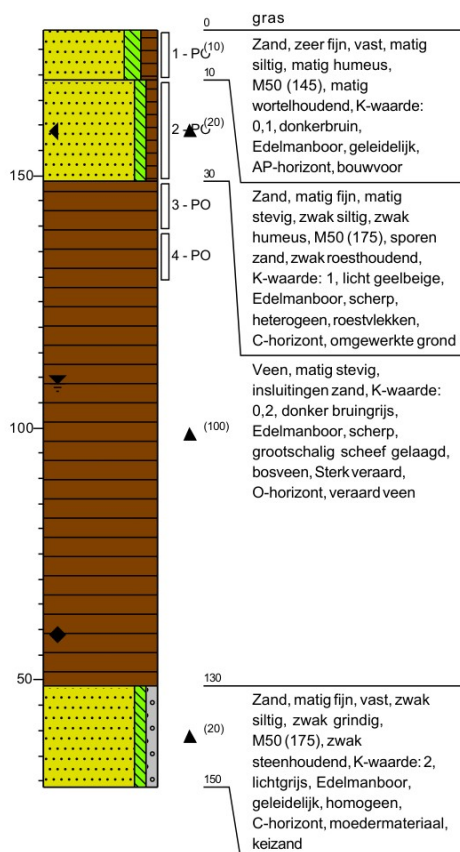
X: 208932,75
Y: 564881,12
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 100

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,258

**Boring: 36**

X: 208888,09
Y: 564921,58
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 20
GLG: 120

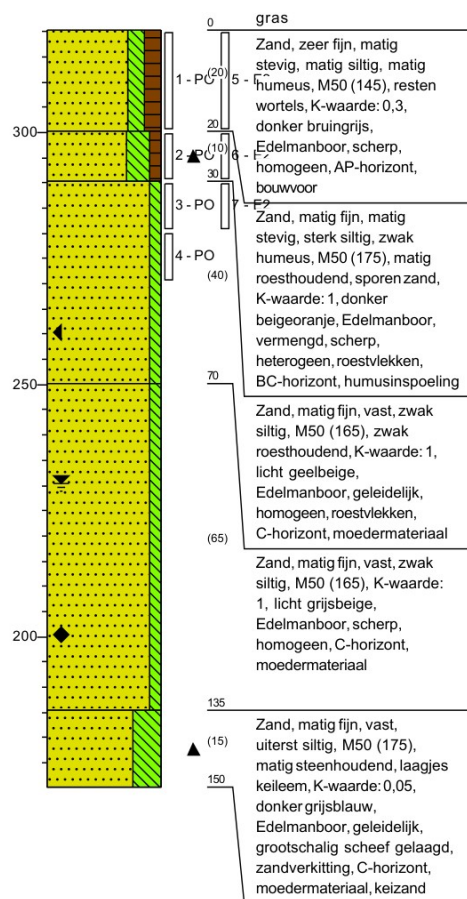
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,79



Boring: 37

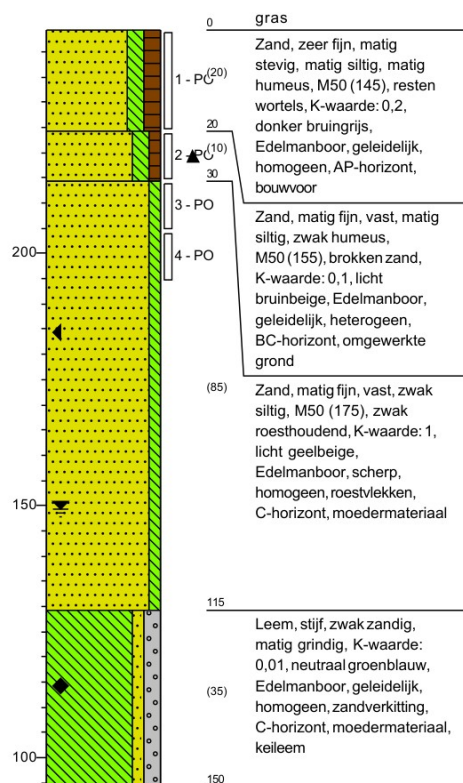
X: 208729,11
Y: 565007,73
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 90
GHG: 60
GLG: 120

RTK, fixed integers
N.A.P.: 3,203

**Boring: 38**

X: 208709,29
Y: 565069,49
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 96
GHG: 60
GLG: 130

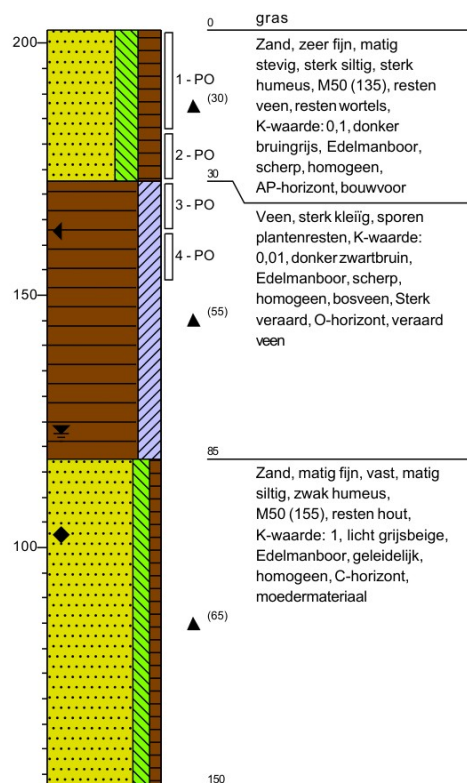
RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,443



Boring: 39

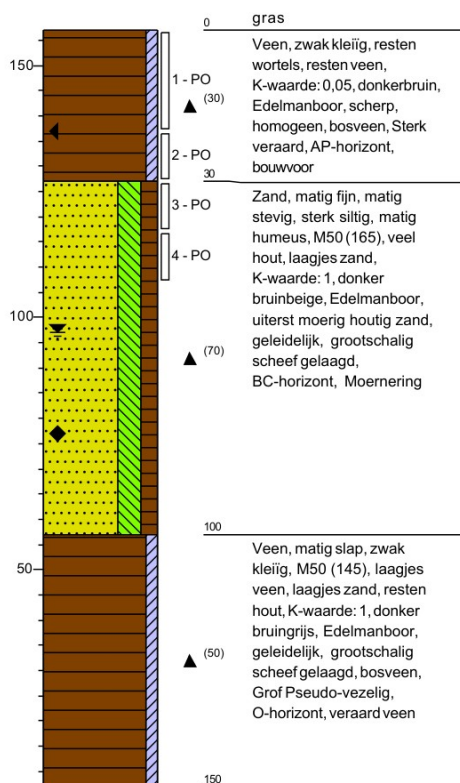
X: 209497,26
Y: 565304,00
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 40
GLG: 100

RTK, fixed integers
N.A.P.: 2,027

**Boring: 40**

X: 208509,78
Y: 564854,87
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 20
GLG: 80

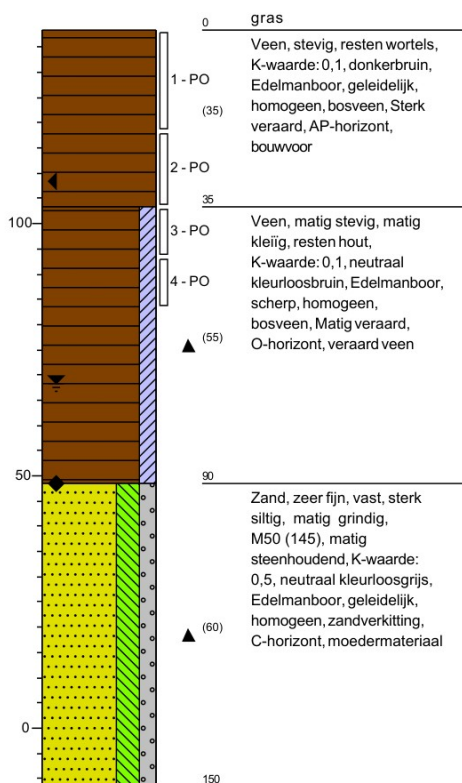
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,57



Boring: 41

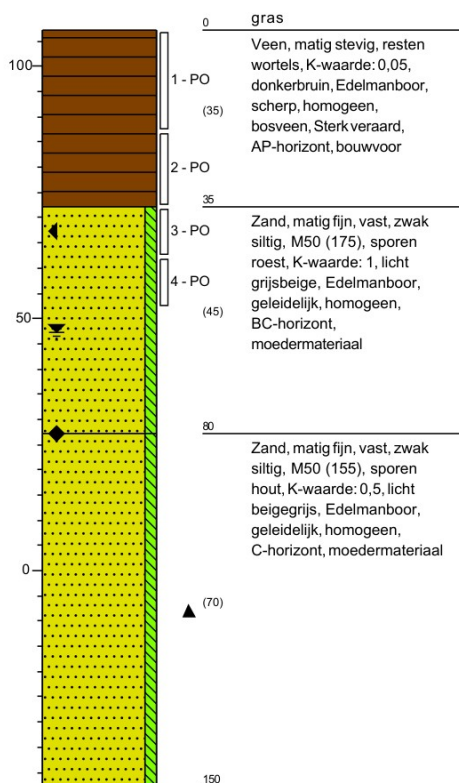
X: 207944,09
Y: 564706,57
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,385

**Boring: 42**

X: 206126,00
Y: 564543,24
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 80

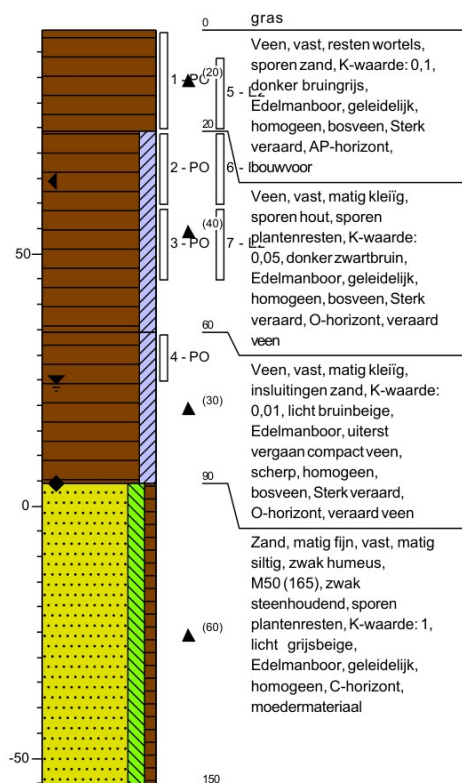
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,073



Boring: 43

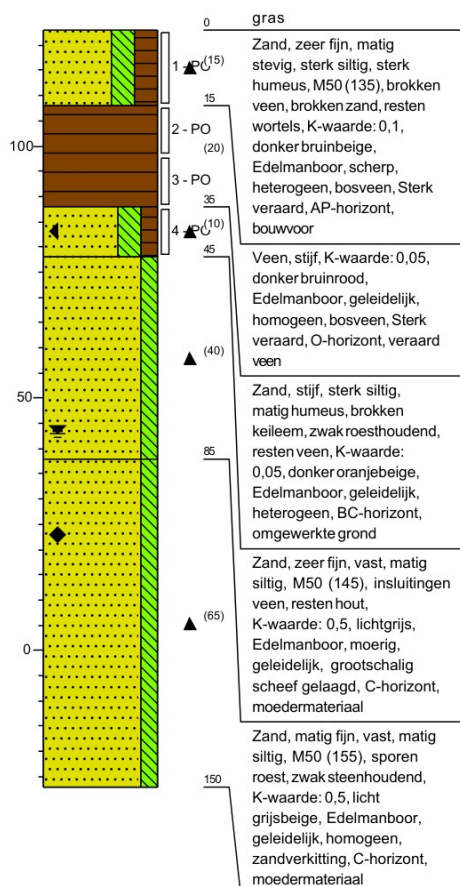
X: 206170,36
Y: 564451,84
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 0,945

**Boring: 44**

X: 206018,97
Y: 564495,00
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 40
GLG: 100

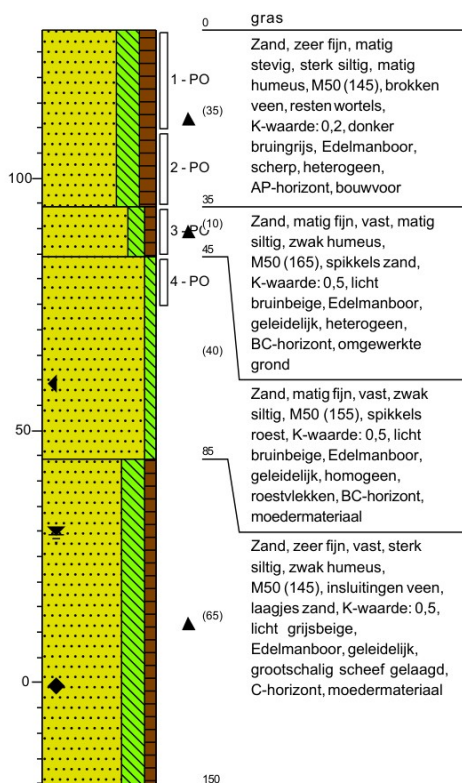
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,231



Boring: 45

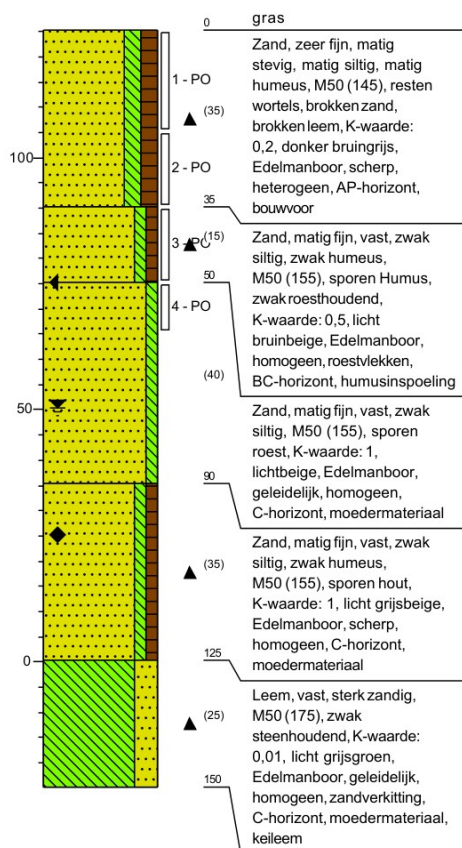
X: 206056,42
Y: 564392,48
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 70
GLG: 130

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,295

**Boring: 46**

X: 206276,61
Y: 564319,70
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 75
GHG: 50
GLG: 100

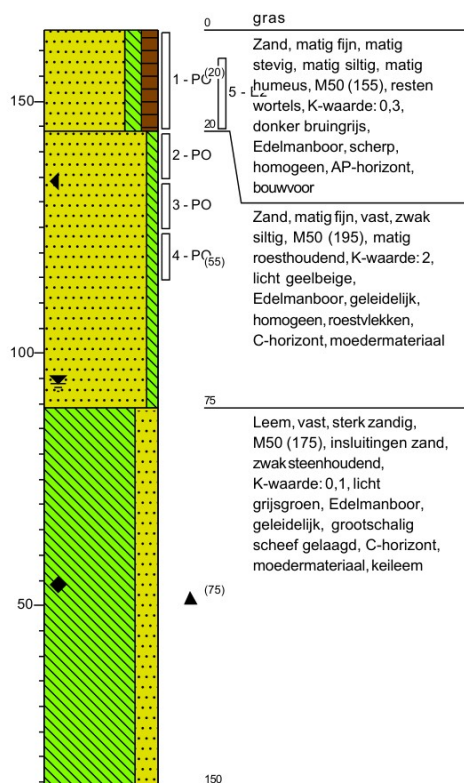
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,254



Boring: 47

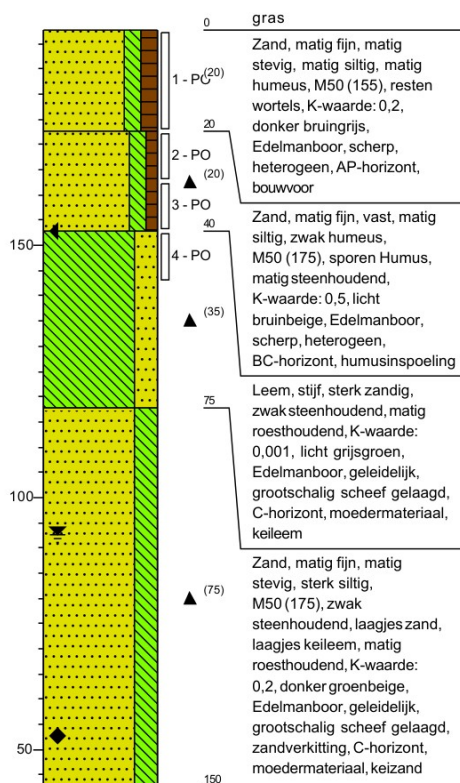
X: 206335,96
Y: 564250,35
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 110

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,642

**Boring: 48**

X: 206396,94
Y: 564181,28
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 100
GHG: 40
GLG: 140

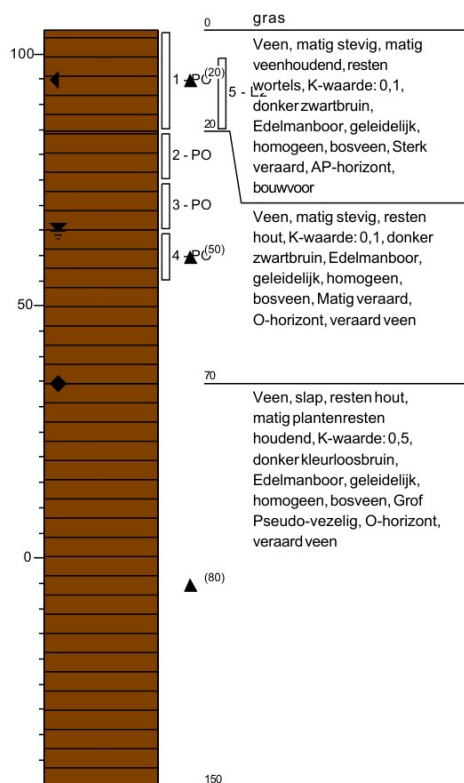
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,928



Boring: 49

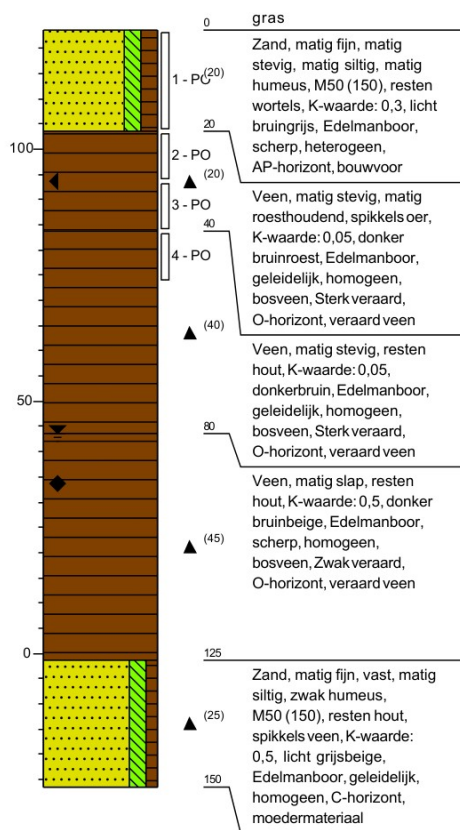
X: 206647,82
Y: 564545,64
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 40
GHG: 10
GLG: 70

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,047

**Boring: 50**

X: 206773,58
Y: 564611,01
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 30
GLG: 90

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,237



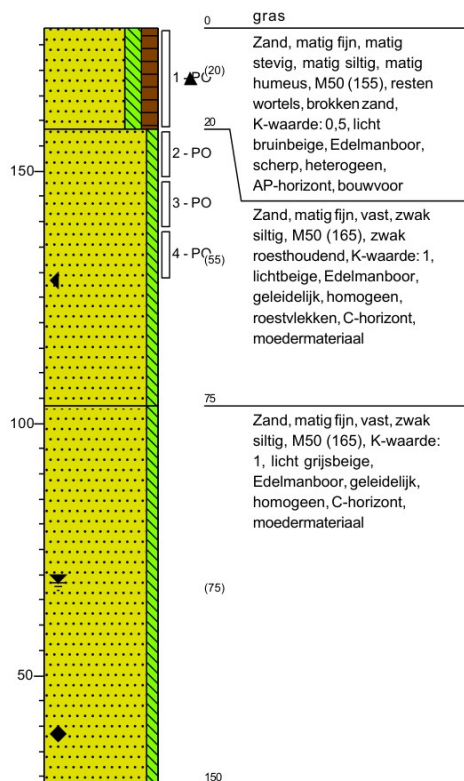
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 51

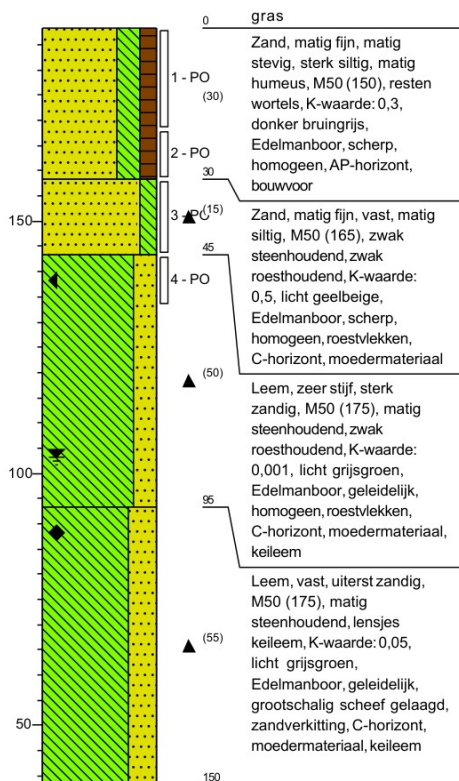
X: 206884,52
Y: 564472,41
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 50
GLG: 140

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,785

**Boring: 52**

X: 206980,74
Y: 564372,24
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 85
GHG: 50
GLG: 100

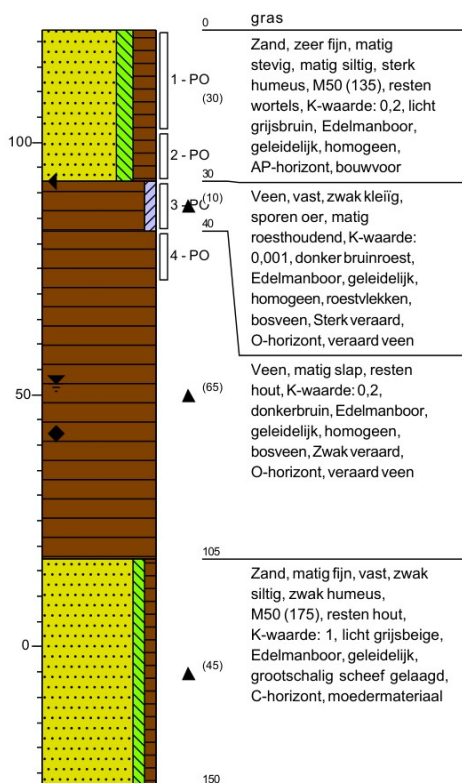
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,884



Boring: 53

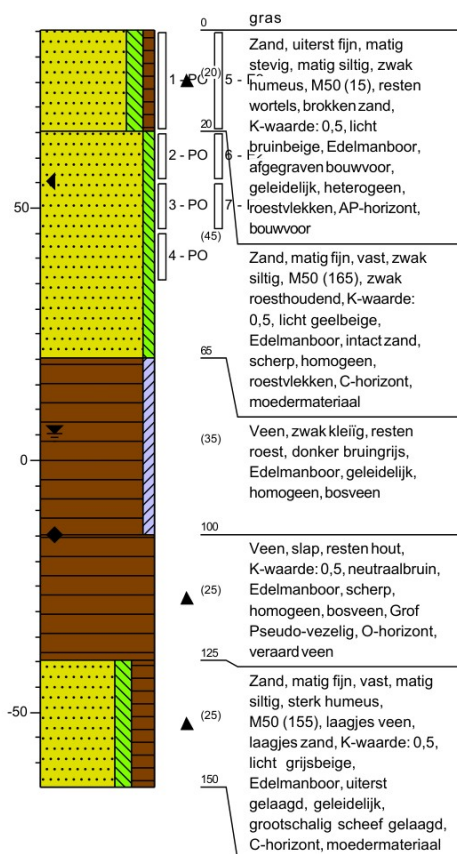
X: 206933,18
Y: 564647,70
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 80

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,224

**Boring: 54**

X: 207115,38
Y: 564736,12
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 80
GHG: 30
GLG: 100

RTK, fixed integers
N.A.P.: 0,854



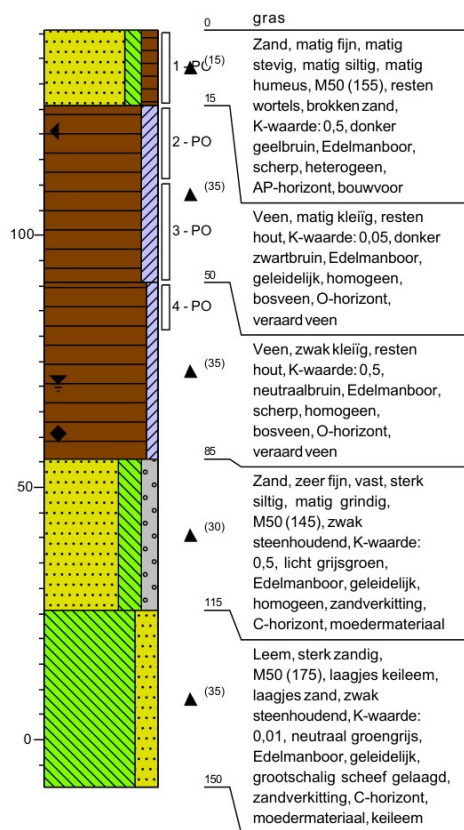
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 55

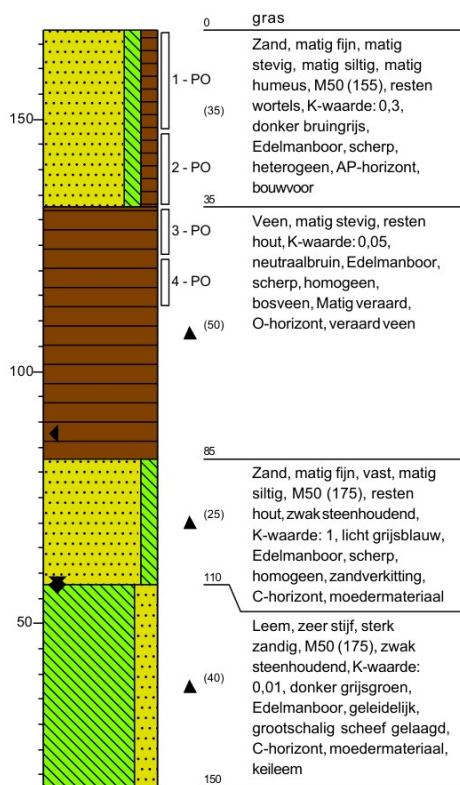
X: 207190,35
Y: 564648,38
Datum: 4-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 20
GLG: 80

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,408

**Boring: 56**

X: 207117,27
Y: 564405,57
Datum: 5-8-2020
Boormeester: J
GWS: 110
GHG: 80
GLG: 110

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,677



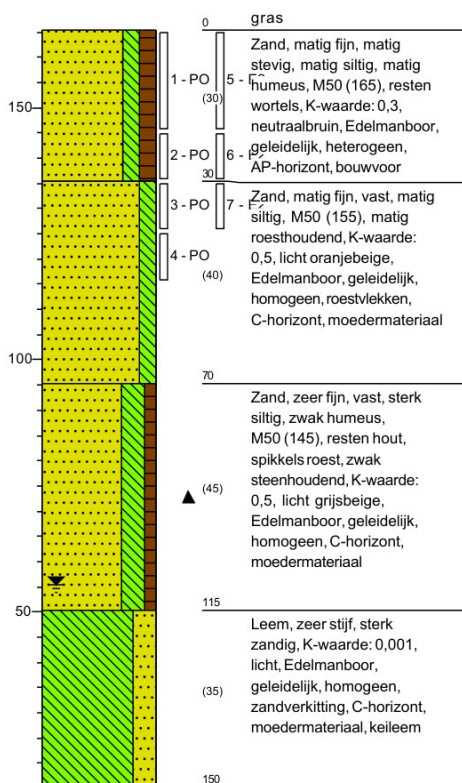
Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

Boring: 57

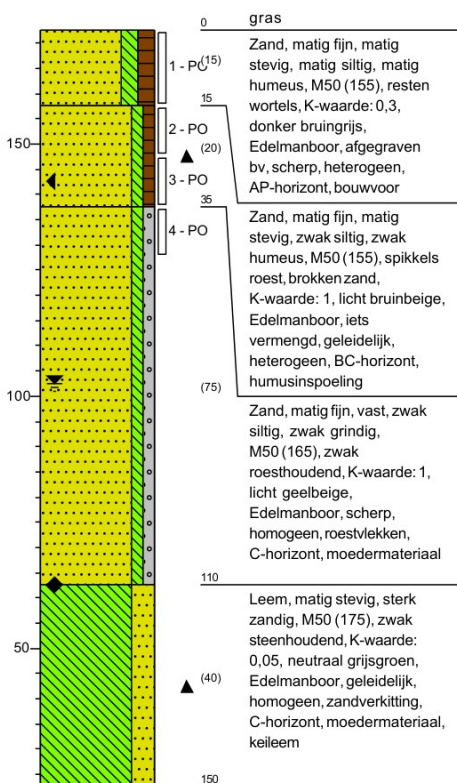
X: 207081,76
Y: 564519,10
Datum: 5-8-2020
GWS: 110

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,655

**Boring: 58**

X: 206796,58
Y: 564422,52
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 70
GHG: 30
GLG: 110

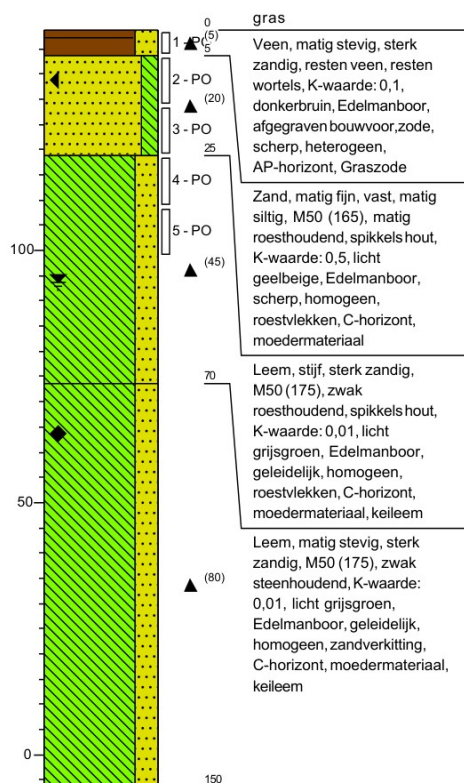
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,727



Boring: 59

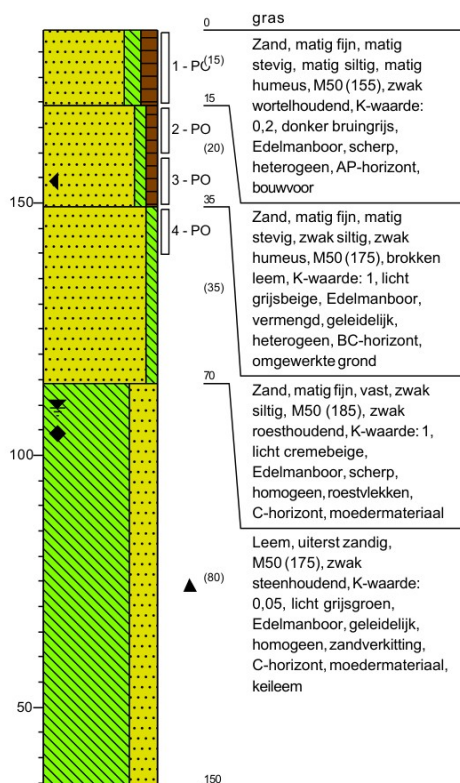
X: 206777,16
Y: 564365,25
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 50
GHG: 10
GLG: 80

RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,437

**Boring: 60**

X: 206833,17
Y: 564361,65
Datum: 6-8-2020
Boormeester: J
GWS: 75
GHG: 30
GLG: 80

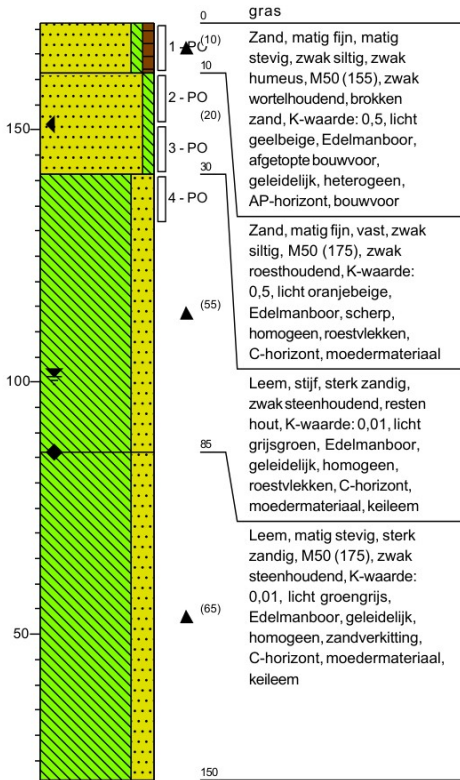
RTK, fixed integers
N.A.P.: 1,844



Boring: 61

X:	206837,56
Y:	564293,98
Datum:	6-8-2020
Boormeester:	
GWS:	70
GHG:	20
GLG:	85

RTK, fixed integers
N.A.P. : 1,712



Projectcode: PR-20.079

Projectnaam: BO Koningsdiep

B
ware

www.b-ware.eu

Toelichting grondslagen

In dit document kunt u secties vinden die onleesbaar zijn gemaakt. Deze informatie is achterwege gelaten op basis van de Wet open overheid (Woo). De letter die hierbij is vermeld correspondeert met de bijbehorende grondslag in onderstaand overzicht.

J Art. 5.1 lid 2 sub e

Het belang van de openbaarmaking van deze informatie weegt niet op tegen het belang van de eerbiediging van de persoonlijke levenssfeer van betrokkenen