

BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK NATUURPOTENTIES MIDDENLOOP VLEDDER AA



- Eindrapport -

BODEM- EN HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

MIDDENLOOP VLEDDER AA

Eindrapport

*Hilde Tomassen
Sasha Koning
Mark van Mullekom*



Titel rapport:

Bodem- en hydrochemisch onderzoek middenloop Vledder Aa, eindrapport

Auteurs:

Hilde Tomassen, Sasha Koning & Mark van Mullekom

Rapportnummer: RP-21.182.22.9

Opdrachtgever:

Prolander



Informatie:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
www.b-ware.eu

Contactpersonen:

Hilde Tomassen
Tel: 024-2122207 of 06-30316130
h.tomassen@b-ware.eu

Mark van Mullekom
Tel: 024-2122207
m.vanmullekom@b-ware.eu

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Onderzoeksgebied	2
1.3 Aanpak onderzoek	3
1.4 Onderzoeksvragen bodem- en hydrochemisch onderzoek	4
1.5 Leeswijzer	5
2. Natuurontwikkeling op landbouwgronden	7
2.1 Natuurontwikkeling: belang van fosfaat	7
2.2 Verschalingsmaatregelen bij natuurontwikkeling	8
2.3 Aanvullend advies	10
3. Materiaal en methoden	15
3.1 Veldwerkzaamheden	15
3.2 Chemische analyse	21
4. Abiotiek referentielocaties en beoogde natuurtypen	25
4.1 Abiotische referentiedata beoogde natuurbeheertypen	25
4.2 Bodemchemie referentielocaties	30
5. Resultaten bodem- en hydrochemisch onderzoek	33
5.1 Inleiding	33
5.2 Bodemtype	33
5.3 Waterkwaliteit	39
5.4 Algemene bodemchemie	44
5.5 Kansen voor natuurontwikkeling per locatie	48
5.6 Risico's gebruik fosfaatrijke toplaag bij verondieping watergangen	60
5.7 Bosontwikkeling	65
6. Synthese en samenvatting	67
6.1 Aanleiding en opzet onderzoek	67
6.2 Referentiemetingen omgeving Vledder Aa	67
6.3 Oppervlakte- en grondwaterkwaliteit	68
6.4 Kansen voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen	69
6.5 Ontwikkeling kruiden- en faunairijk grasland	73
6.6 Bosontwikkeling	74

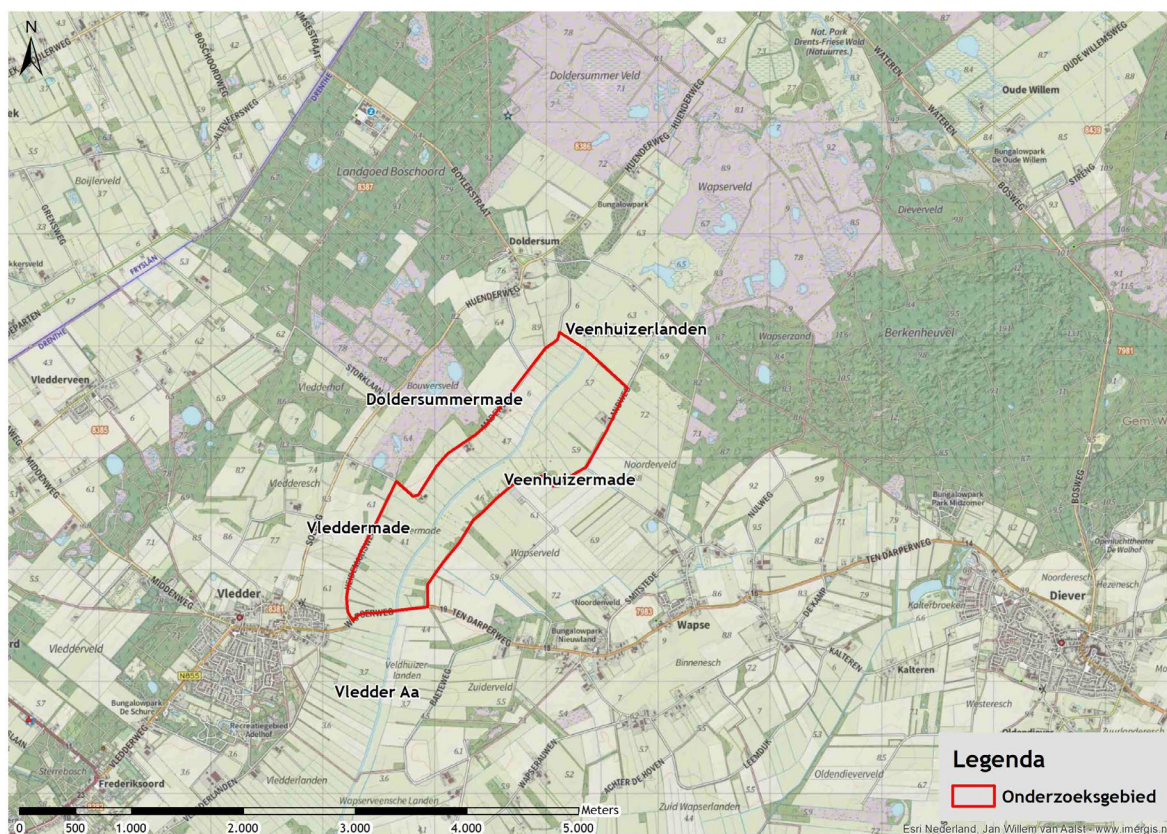
6.7 Toepassing grond voor dempen watergangen	75
6.8 Risico op aantasting archeologische waarden	78
6.9 Slotopmerking	78
7. Literatuur	79
8. Bijlagen	83
8.1 Bijlage 1 - Beschrijvingen bodemprofiel	83

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Onderzoekcentrum B-WARE is door Prolander gevraagd om een bodem- en hydrochemisch onderzoek uit te voeren om natuurpotenties en geschikte inrichtingsmaatregelen in kaart te brengen voor een aantal (voormalige) landbouwgronden in het beekdal van de middenloop van de Vledder Aa. Het onderzoek is gericht op de bodem- en waterkwaliteit. Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan de opdrachtgever gericht keuzes maken bij de gebiedsontwikkeling.

Het beekdal van de Vledder Aa is gelegen tussen de esdorpen Vledder, Wapse en Doldersum. Ten noordoosten van het beekdal ligt het Nationale Park het Drents-Friese Woud, hier ontspringt de Vledder Aa (Figuur 1). De Vledder Aa is hiermee de enige beek in Nederland waarvan de bovenloop in een natuurlijke omgeving ligt. De Vledder Aa voert het water van het Drents Plateau af naar de Weerribben en de Wieden (Storymap Vledder Aa, 2022). Het watersysteem van de Vledder Aa biedt unieke kansen voor de ontwikkeling van nieuwe natuurwaarden.



Figuur 1. Overzicht van de ligging van het onderzoeksgebied.

De Vledder Aa is onderdeel van het Natuurnetwerk Nederland (NNN). Het vormt de verbinding tussen de natuurgebieden het Drents-Friese Woud in het noorden en de Weerribben en Wieden in het zuiden. Langs de Vledder Aa ligt een opgave om 204 hectare nieuwe natuur in te richten. In 2014 is het noordelijke deel (fase 1) van het beekdal opnieuw ingericht. Het brede, rechte kanaal dat tijdens de ruilverkaveling in de jaren '50 is aangelegd, is daar weer teruggebracht tot een

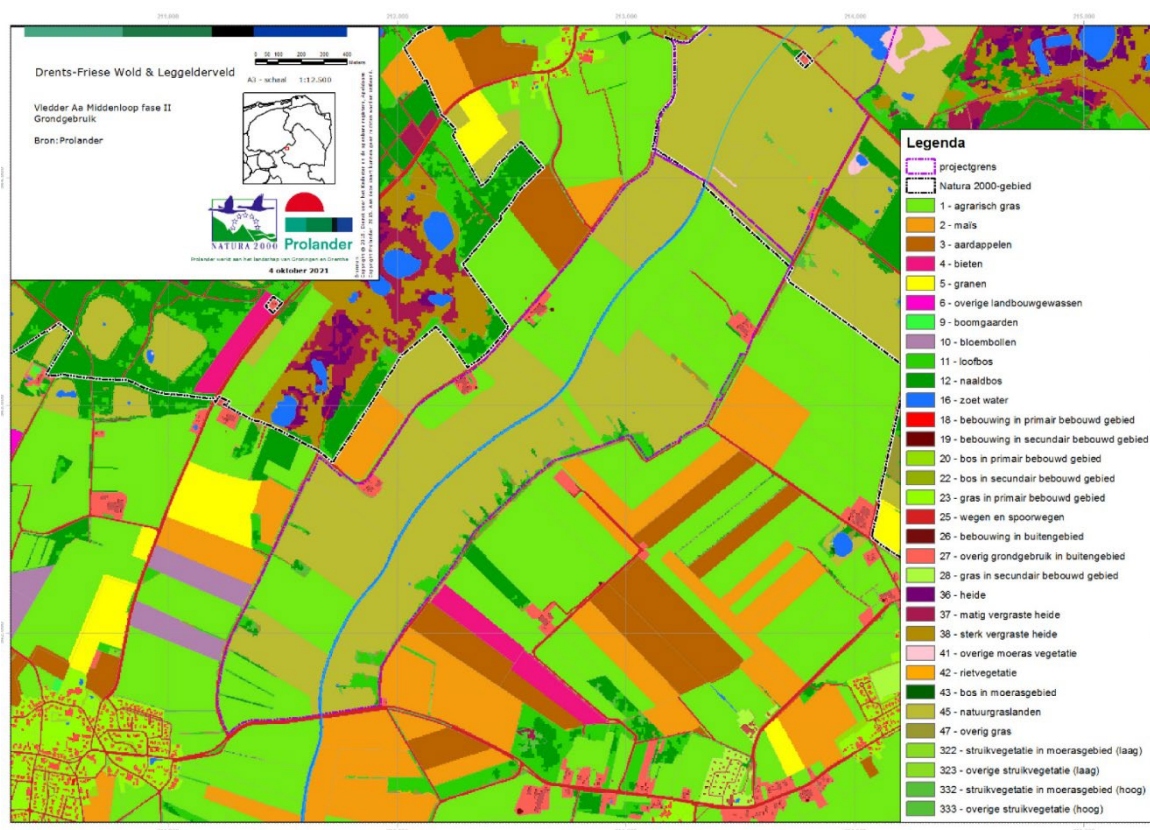
smalle, kronkelende beek. Fase 2 betreft de middenloop van de Vledder Aa en zal in 2023 worden heringericht (Storymap Vledder Aa, 2022).

Binnen dit project moeten ook de doelen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) en Waterberging 21^e eeuw een plek krijgen. De waterkwaliteit van de Vledder Aa moet verbeteren en het gebied moet zo ingericht worden dat het om kan gaan met droogte en wateroverlast. Het doel van dit project is om een natuurlijk en klimaatbestendig beekstelsel te ontwikkelen. Een systeem dat goed past in de omgeving, waarin naast natuur, ook landbouw, cultuurhistorie en recreatie een belangrijke rol spelen (Nationaal Park Drents-Friese Wold, 2022).

1.2 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied betreft de middenloop van de Vledder Aa (ca. 117 ha; Figuur 1) en zal worden (her)ingericht als gecombineerd natuur- en waterbergingsgebied. De westflank van het beekdal bestaat uit de deelgebieden Doldersummermade (noordelijk) en Vleddermade (zuidelijk) en de oostflank uit de Veenhuizermaden (Figuur 1). Het onderzoeksgebied bestaat hoofdzakelijk uit graslanden (Figuur 2). Het grootste gedeelte hiervan betreft natuurgraslanden die niet (meer) worden bemest. Het zuidoostelijke deel van het beekdal (Veenhuizermade), is inmiddels 40 jaar in beheer en eigendom van Staatsbosbeheer. In deze delen is sprake van een verschraving. Centraal in het noordwestelijke deel is het grasland inmiddels vijf jaar in extensief beheer. Het noordoostelijke agrarische grasperceel in de Veenhuizermade wordt sinds twee jaar uitgemijnd.

Er zijn nog geen specifieke natuurdoelen voor het gebied bepaald. Gedacht wordt aan korte, grasachtige vegetaties als vochtig hooiland of nat schraalland, maar ook beekbegeleidend bos en/of doorstroommoeras behoren tot de opties.



Figuur 2. Grondgebruik binnen het projectgebied Vledder Aa (middenloop, fase II). Bron: Prolander.

.....

Door het onderzoeksgebied loopt de genaturaliseerde beek (Figuur 1). Het betreft een forse watergang van ca. 5 meter breed en een gemiddelde diepte van 1,5 tot 2 meter, met een bodemdiepte van ca. 3,5 meter onder maaiveld. Momenteel is vrijwel overal sprake van grondwatertrap IIIb (GHG 25-50 cm onder maaiveld en GLG 80-120 cm onder maaiveld). IJzerrijke kwel is momenteel beperkt tot de bodems van greppels en sloten. Na inrichting is het de bedoeling dat langs de beek op meer plaatsen lokale kwel ontstaat. De wateraanvoer vanaf het noorden en vanaf de flanken is echter beperkt, zodat het grootste deel van het plangebied in zijn gebied is en blijft.

De ondergrond van het plangebied bestaat hoofdzakelijk uit moerige eerdgronden in de lagere delen en veldpodzolgronden met lemig zand op de flanken. In 2021 is de gehele bodemopbouw van het plangebied met grondradar in kaart gebracht (Jonkman & de Vries, 2021; Ketelaar, 2021). Hieruit kwam de ligging van historische beeklopen aan het licht. Ook het lokaal voorkomen van leemschollen is op met grondradar in beeld gebracht.

1.3 Aanpak onderzoek

De percelen binnen het onderzoeksgebied zijn in agrarisch gebruik geweest of zijn dat nog steeds. Hoge nutriëntenconcentraties als gevolg van bemesting kunnen de ontwikkelingsmogelijkheden van verschillende vegetatietypen belemmeren. Om beter zicht te krijgen in de potenties voor de ontwikkeling van verschillende vegetatietypen werd een onderzoek uitgevoerd naar de bodemchemie en waterkwaliteit.

Beoogde doelen zijn de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen als nat schraalland (N10.01) en vochtig hooiland (N10.02; Figuur 3). Op 69 locaties op de (voormalige) landbouwgronden werd het bodemprofiel beschreven en werden op verschillende diepten bodemonsters verzameld. Het bodemchemisch onderzoek is nodig om de kansen en knelpunten vast te kunnen stellen voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen. In de omgeving werden ook bodemonsters op referentielocaties verzameld voor analyse. De kwaliteit van het grondwater werd onderzocht om te bepalen in hoeverre dit kansen biedt voor de beoogde ontwikkeling. Op basis van het onderzoek zijn adviezen opgesteld met de kansen voor natuurontwikkeling middels een verschrallingsbeheer, het afgraven van de voedselrijke toplaag en/of een beperkte ontgraving in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer. Wanneer de bodem tot op grote diepte verrijkt is met fosfaat worden alternatieve ontwikkelingsmogelijkheden gegeven.



Figuur 3. Vochtig hooiland (links, N10.02) en nat schraalland (rechts, N10.01) komen tot ontwikkeling onder voedselarme omstandigheden. Foto's: Harm Smeenge en Mark van Mullekom.

1.4 Onderzoeksvragen bodem- en hydrochemisch onderzoek

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. Het doel van het onderzoek is driedig. Op basis van het onderzoek worden in deze rapportage de volgende vragen beantwoord:

1. Kansen voor natuurontwikkeling:
 - a. Wat zijn de bodem- en hydrochemische condities op de referentielocaties?
 - b. Wat is de bodemopbouw op de boorlocaties?
 - c. Wat zijn de P-concentraties in de toplaag en wat is de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur (hoog ambitieniveau) of bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland (lager ambitieniveau)?
 - d. Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor en wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuurtypen?
 - e. Zijn er mogelijkheden om natuur te ontwikkelen door middel van een beperkte ontgroning in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer?
 - f. Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen voor de ontwikkeling van de beoogde natuurbeheertypen?
 - g. Welke natuurpotenties zijn er concreet op basis van de bodemchemie en de (grond)waterkwaliteit?
 - h. Biedt de grondwaterkwaliteit kansen voor de beoogde ontwikkeling op de voormalige landbouwgronden of vormt deze een knelpunt?
2. Dempden bestaande watergangen:
 - a. In hoeverre kan de afgegraven voedselrijke grond, vrijkomend bij het uitgraven van de oorspronkelijke beekloop en het verlagen van de voedselrijkdom binnen het projectgebied, gebruikt worden voor het dempen van de bestaande watergangen?
3. Beeldvorming archeologische en bodemkundige waarden:
 - a. Kan in het beekdal de voedselrijke grond afgegraven worden zonder het risico op het aantasten van aanwezige archeologische en bodemkundige waarden?

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.

1.5 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 bodem- en hydrochemisch onderzoek worden in hoofdstuk 5 beschreven, inclusief de kansen voor natuurontwikkeling plus de (inrichtings)maatregelen die daarvoor nodig zijn. Daarnaast wordt ingegaan op de risico's bij het gebruik van de vrijgekomen grond bij het verondiepen en dempen van watergangen. Ook worden de mogelijkheden voor bosontwikkeling verkend. In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen beschreven. Hoofdstuk 7 bevat een overzicht van de gebruikte literatuur en hoofdstuk 8 de bijlagen.

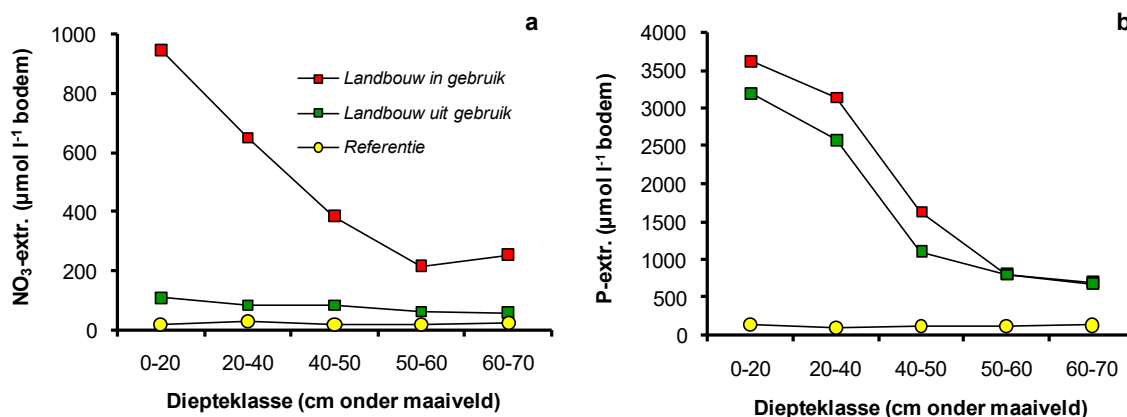
.....

2. NATUURONTWIKKELING OP LANDBOUWGRONDEN

2.1 Natuurontwikkeling: belang van fosfaat

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 4; 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 4; 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 2.2).

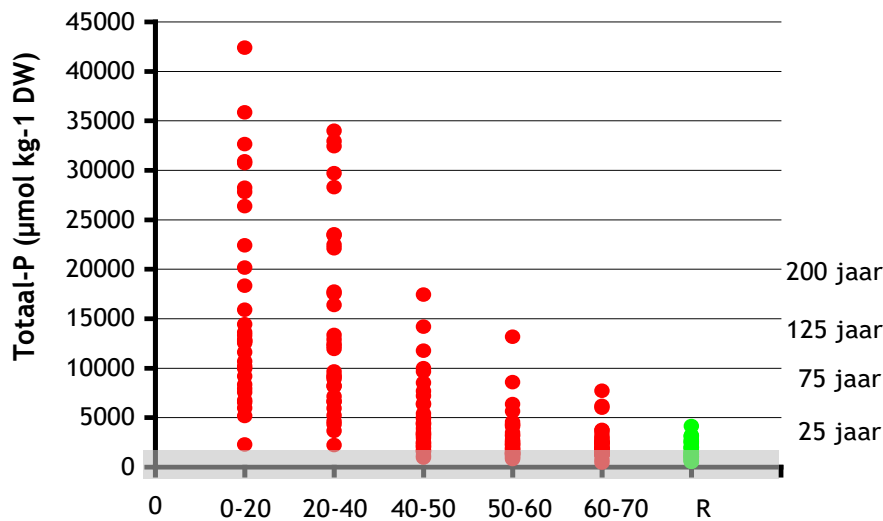


Figuur 4. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de 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).

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 4; 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 5. 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).

2.2 Verschrallingsmaatregelen bij natuurontwikkeling

Verschraling (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).

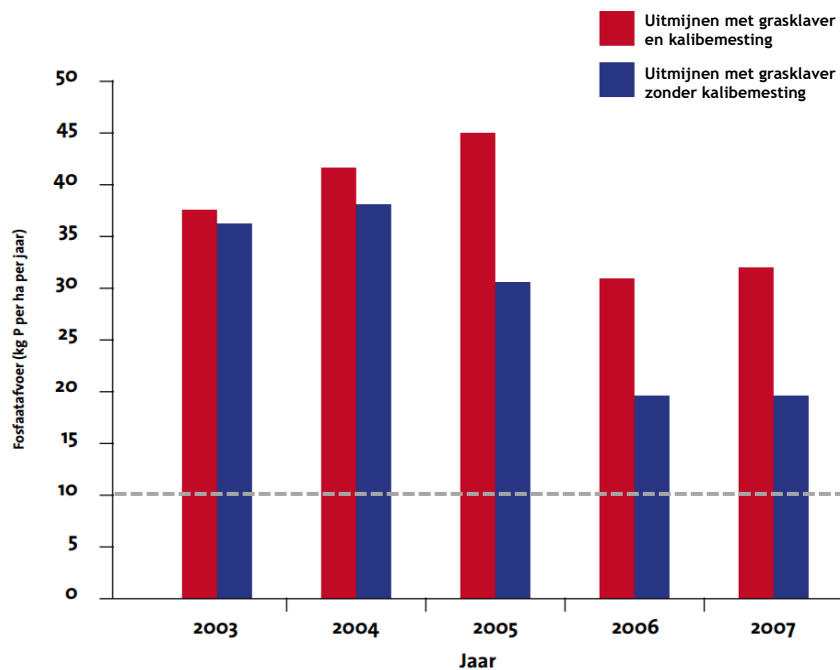
Intensief beheer met maaien en afvoeren

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

De verschrallingsduur voor maaien en afvoeren is in deze rapportage berekend op basis van het verschil tussen de actuele totaal-P concentratie en de totaal-P streefconcentratie, uitgaande van

.....

een P-afvoer van 10 kg per hectare per jaar (Chardon, 2008). De streefconcentratie voor totaal-P is hierbij niet op een standaardwaarde vastgesteld, maar berekend aan de hand van de streefwaarde voor Olsen-P en de actuele beschikbare P-fractie (Olsen-P/totaal-P-ratio). Stel dat de actuele P-fractie 0,1 is (10% van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 μmol Olsen-P/l de streefwaarde voor totaal-P 5 mmol/l ($(0,5/10) \times 100$). Stel dat bij een ijzer- en kalkrijke bodem de actuele P-fractie slechts 0,05 is (5% van de totale P voorraad is beschikbaar), dan is de streefwaarde voor totaal-P 10 mmol/l ($(0,5/5) \times 100$). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de verschrallingsperiode gelijk blijft. Wanneer we hiervoor zouden corrigeren (veranderende (Ca+Fe)/P-ratio) valt de verschrallingsduur 10-20% lager uit. Het is echter te verwachten dat de effectiviteit van de verschralling in de laatste fase afneemt, waardoor de P-afvoer van 10 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschrallingsduur eerder hoger uit zou vallen. De gehanteerde formule lijkt overall dan ook een goed beeld te geven van de indicatieve verschrallingsduur. Verder is de ondergrens voor de totaal-P streefconcentratie gesteld op 3 mmol/l. Voor uitmijnen kan de verschrallingsduur op dezelfde wijze berekend worden, maar dan wordt uitgegaan van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar. Wanneer aanvullend verschrallingsbeheer vereist is, betekent dit dat er onvoldoende voedselarme condities zijn gecreëerd bij de inrichting. Hierdoor is er een kans op verruiging in de vorm van pitrusontwikkeling onder vochtige tot natte omstandigheden. De verschrallingsduur via maaien en afvoeren is 4 keer zo lang als de duur via uitmijnen (zie later). Voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld.



Figuur 6. 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 fosforpentoxyde (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).

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 verschrallingsniveau is bereikt (van Mullekom e.a., 2013). Het uitmijnen kan versneld worden door het verwijderen van de extreem voedselrijke toplaag.

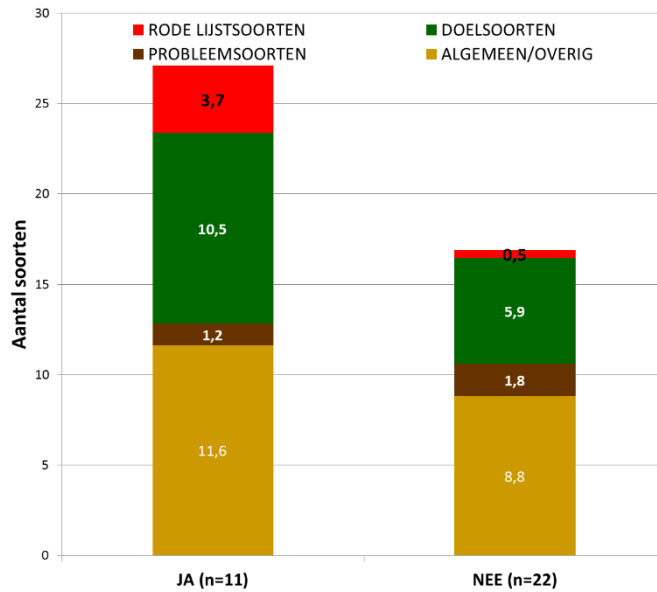
Ontgronden

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, 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.

2.3 Aanvullend advies

Herintroductie

Na het verwijderen van de P-verrijkte toplaag is het vaak nodig om nog een aantal jaren aanvullend verschralingbeheer te plegen door middel van maaien en afvoeren. Begrazen houdt het terrein wel open maar leidt nauwelijks of niet tot een verdere verschraling van het terrein. Nadat een P-gelimiteerde uitgangssituatie is gecreëerd is er vaak nog geen sprake van de gewenste vegetatieontwikkeling. Met name de zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich doorgaans niet of slechts na lange tijd. Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank meestal weinig meer over. Door de hoge nitraatconcentraties in deze bodems zijn de meeste zaden reeds gekiemd omdat nitraat werkt als kiemhormoon. De nog resterende zaadbank wordt vaak gedomineerd door zeer algemene soorten met een hoge zaadproductie, zoals pitrus. Het uitzaaien van diasporen (zaden, sporen, stekken) via maaisel of plagsel van een geschikte referentievegetatie zal de ontwikkeling van de gewenste vegetatie sterk bevorderen (van Mullekom e.a., 2009; 2013).



Figuur 7. 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.

Wanneer plagsel (Figuur 8) 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). Het herintroduceren van doelsoorten (eventueel één of twee opeenvolgende jaren herhalen zolang de zode nog niet gesloten is) 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 7).



Figuur 8. Het uitstrooien van heideplagsel en het resultaat na vier jaar. Foto's: Michael van Roosmalen, Stichting Het Limburgs Landschap.

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 8) waarbij idealiter 1 m² vers verzameld maaisel over 1(-2) m² bodem wordt verspreid. Wanneer dit niet mogelijk is, kan het maaisel in een lagere dichtheid of in kleinere over het gebied verspreide zones worden opgebracht. Wanneer vers plagsel of bodemmateriaal (indicatie dichtheid: 1 m² verspreiden over 15-25 m²) uit referentielocaties wordt opgebracht (enten), wordt ook bodemleven (o.a. mycorrhiza schimmels) geïntroduceerd.

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.

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.

Beperken risico op groei van watercrassula

Bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden ontstaan er vaak grote oppervlakten kale bodem, waardoor deze gebieden extra gevoelig zijn voor een invasie door de exoot watercrassula (*Crassula helmsii*). Wanneer na een ontgronding nog sprake is van te voedselrijke omstandigheden is het risico op ongewenste uitbundige groei van watercrassula ook groter dan bij voedselarme omstandigheden (Figuur 9). Mocht watercrassula onder voedselarme omstandigheden alsnog tot ontwikkeling komen, dan is de totale biomassa veelal lager. Ook de inundatie met voedselrijk water kan de ontwikkeling van watercrassula stimuleren. Overigens kunnen zowel de verruiging met pitrus als de woekering van watercrassula worden beperkt door doelsoorten/concurrenten in te brengen (Brouwer e.a., 2017). Dit bevestigt de noodzaak van het inbrengen van maaisel na het uitvoeren van een ontgronding.



Figuur 9. Watercrassula is een invasieve exoot plantensoort die met name in natte en vochtige, zandige natuurgebieden inheemse plantensoorten verdringt. De soorten kan gaan woekeren op open plekken na een ontgronding, vooral wanneer de N-concentraties ($> 40 \mu\text{mol/l}$ in het oppervlaktewater) en P-concentraties ($>350 \mu\text{mol/l}$ Olsen-P in de bodem) nog te hoog zijn en/of voldoende CO_2 beschikbaar is ($>200 \mu\text{mol/l}$). Door voldoende voedselarme condities te creëren en de ontwikkeling van concurrenten (o.a. pilvaren, oeverkruid, waterpostelein, vlottende bies, knolrus, veenmos, veelstengelige waterbies en moerashertshooi) te stimuleren kan het risico op de woekering van watercrassula worden beperkt (Van der Loop & van Kleef, 2020; Brouwer e.a., 2017). Links: Heerenven (foto: Esther Lucassen). Rechts: Akkerven (foto: Hein van Kleef).

Hydrologie optimaliseren

Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie van het systeem dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Een eventuele ontgronding dient binnen dit (eco)hydrologische systeem te passen. 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. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de grondwaterstanden (GLG en GHG) die passen bij verschillende vochtige tot natte natuurtypen.

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 verzuuring leiden. In de zomer dient de toplaag droog te vallen om P-binding te stimuleren en verzuuring te voorkomen. In verband met het veranderende klimaat (extremere weersomstandigheden) wordt geadviseerd de hydrologische omstandigheden (bij vernatting) regelbaar te maken.

Tabel 1. 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			40- tot 120 -			
	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	mv	4.5-6	150-400	1-3
	Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	4.5-6.5	100-500	1-6
	Blauwgrasland	0 tot 25- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	200-500	2-10 (tot 20)
Vochtig hooiland	Dotterbloemhooiland / Veldrusschraalland	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
		20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Moeras	Grote zeggenmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 40- mv	>5	-	-
	Rietmoeras	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
Hoog- en laagveenbos	Berkenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)
	Elzenbroekbos					

3. MATERIAAL EN METHODEN

3.1 Veldwerkzaamheden

Tussen 9 en 15 december 2021 werden op 69 locaties boringen gezet tot op 150 cm-mv. De locaties werden in overleg met 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 en hoogte van het maaiveld werden ingemeten met een RTK-dGPS (Tabel 2). Het bodemprofiel werd beschreven conform NEN 5104 door boormeester Jan Vermeer van ATKB (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel werd ook de GHG en GLG (Tabel 2) geschat op basis van hydromorfe kenmerken.

Tabel 2. Overzicht van de monsterdatum, coördinaten, maaiveldhoogte (MVH in m +NAP), landgebruik (MVTYPE), actuele grondwaterstand (GWS; 9-15 december 2021), gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) per locatie. nw = niet waargenomen in het boorprofiel. Voor de ligging van de locaties zie Figuur 10 en Figuur 11.

LOCATIE	DATUM	X	Y	MVH	MVTYPE	GWS	GHG	GLG
1	9-12-2021	213144	544065	5,834	gras	20	0	100
2	9-12-2021	213170	543862	5,668	gras	40	20	100
3	9-12-2021	213038	543864	5,556	gras	50	20	100
4	9-12-2021	213075	543743	5,552	gras	50	20	90
5	9-12-2021	212960	543713	5,477	gras	40	20	100
6	9-12-2021	212870	543656	5,522	gras	50	20	110
7	9-12-2021	212890	543483	5,057	gras	50	20	110
8	9-12-2021	212741	543487	5,179	gras	50	20	110
9	9-12-2021	212795	543327	4,794	gras	50	30	110
10	9-12-2021	212687	543299	4,785	gras	30	10	100
11	9-12-2021	212551	543310	4,873	gras	30	10	90
12	9-12-2021	212657	543103	4,607	gras	40	20	125
13	9-12-2021	212439	543169	4,902	gras	50	30	110
14	9-12-2021	212524	542984	4,374	gras	20	0	90
15	9-12-2021	212326	542976	4,79	gras	50	30	100
16	9-12-2021	212267	542811	4,029	gras	40	20	100
17	9-12-2021	212064	542844	4,69	gras	40	20	90
18	9-12-2021	212073	542651	4,447	gras	50	30	100
19	9-12-2021	211895	542525	4,79	gras	60	30	110
20	9-12-2021	211770	542504	4,49	gras	40	20	90
21	10-12-2021	211612	542501	4,749	gras	50	20	110
22	10-12-2021	211837	542339	3,996	gras	30	10	90
23	10-12-2021	211615	542360	4,412	gras	40	20	110
24	10-12-2021	211451	542201	5,259	gras	110	85	nw
25	10-12-2021	211732	542108	3,904	gras	50	30	90
26	10-12-2021	211658	541978	3,627	gras	40	20	100
27	10-12-2021	211487	541998	3,812	gras	40	20	90
28	10-12-2021	211472	541856	4,341	gras	55	35	100
29	10-12-2021	211328	541837	4,274	gras	60	40	110

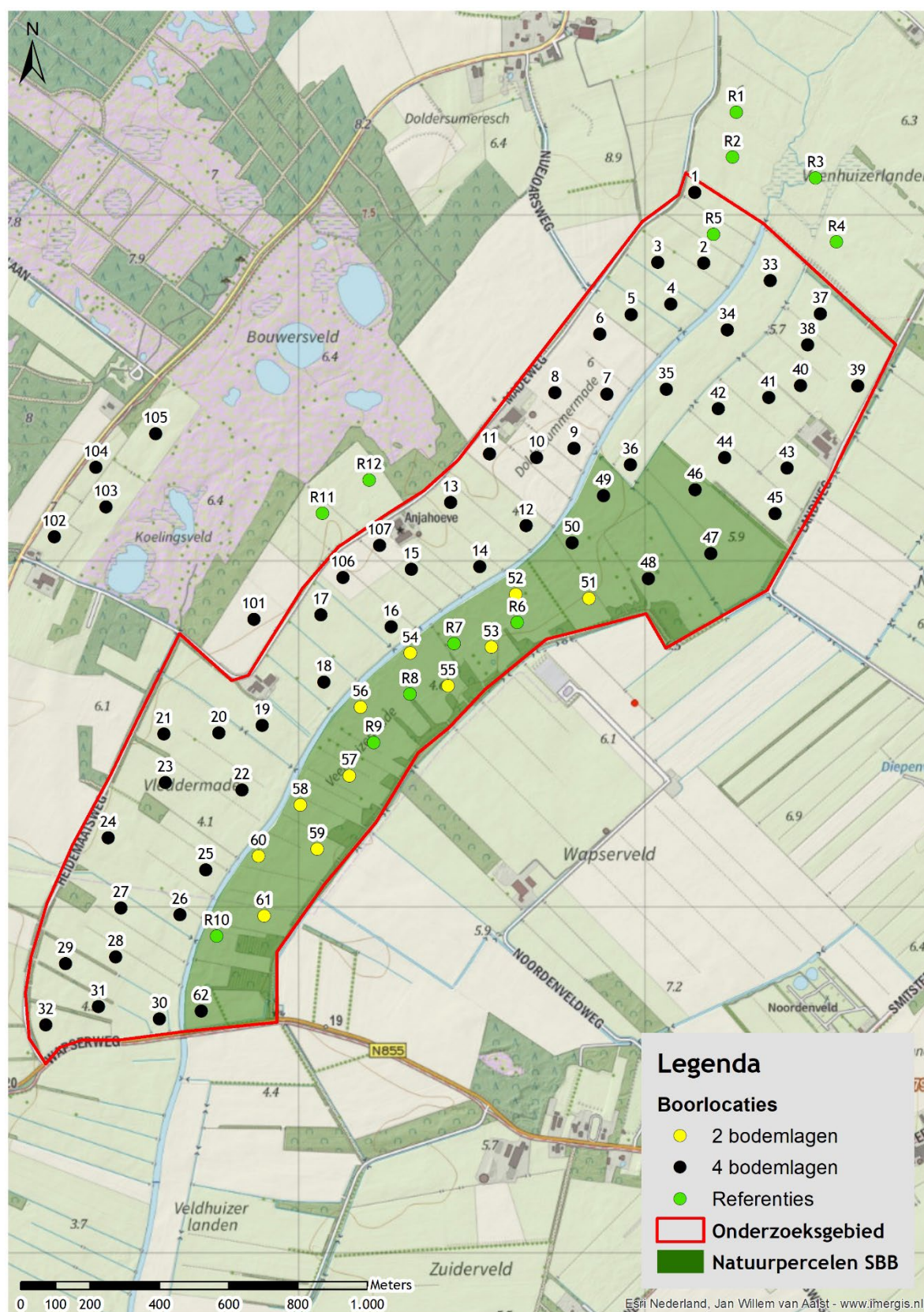
LOCATIE	DATUM	X	Y	MVH	MVTYPE	GWS	GHG	GLG
30	10-12-2021	211598	541677	3,568	gras	45	20	90
31	10-12-2021	211423	541712	4,362	gras	60	45	120
32	10-12-2021	211270	541660	4,824	gras	80	60	150
33	13-12-2021	213362	543811	5,355	gras	30	0	100
34	13-12-2021	213238	543668	5,346	gras	40	20	90
35	13-12-2021	213062	543497	5,131	gras	50	40	90
36	13-12-2021	212958	543279	5,181	gras	50	30	110
37	13-12-2021	213507	543715	5,714	gras	50	20	90
38	12-12-2021	213470	543625	6,029	gras	55	40	100
39	13-12-2021	213615	543507	6,261	gras	60	40	100
40	13-12-2021	213450	543507	5,841	gras	55	30	110
41	13-12-2021	213358	543473	5,611	gras	55	30	100
42	13-12-2021	213212	543441	5,446	gras	55	30	130
43	13-12-2021	213411	543269	5,825	gras	60	40	100
44	13-12-2021	213230	543300	5,715	gras	60	40	120
45	13-12-2021	213377	543137	5,638	gras	55	30	110
46	13-12-2021	213146	543207	5,255	gras	30	10	75
47	13-12-2021	213191	543022	5,596	gras	55	45	100
48	13-12-2021	213010	542950	5,38	gras	40	20	90
49	13-12-2021	212880	543189	4,512	braak	5	0	40
50	13-12-2021	212790	543053	4,671	braak	20	0	90
51	14-12-2021	212839	542892	5,149	gras	60	40	135
52	14-12-2021	212626	542904	4,41	braak	10	0	75
53	14-12-2021	212557	542752	4,56	gras	40	20	100
54	14-12-2021	212322	542734	4,048	braak	5	0	60
55	14-12-2021	212432	542640	4,67	braak	40	20	90
56	14-12-2021	212179	542579	4,169	braak	45	20	80
57	14-12-2021	212146	542380	3,886	braak	0	0	30
58	14-12-2021	212006	542296	3,966	gras	20	0	80
59	14-12-2021	212054	542168	4,446	gras	40	20	110
60	14-12-2021	211884	542148	3,65	gras	20	10	80
61	14-12-2021	211900	541975	4,452	gras	60	45	120
62	14-12-2021	211719	541700	3,964	gras	60	40	120
101	10-12-2021	211871	542832	5,086	akker	75	30	120
102	10-12-2021	211295	543071	6,245	gras	90	60	140
103	15-12-2021	211444	543156	6,22	gras	90	65	140
104	15-12-2021	211415	543271	6,725	gras	50	30	130
105	15-12-2021	211588	543368	6,955	gras	140	120	nw
106	15-12-2021	212128	542953	5,002	gras	55	30	110
107	15-12-2021	212235	543046	4,55	gras	40	20	110

Tabel 3. Overzicht van de verzamelde oppervlakte- en grondwatermonsters. Voor de ligging van de bemonsterde locaties zie Figuur 12.

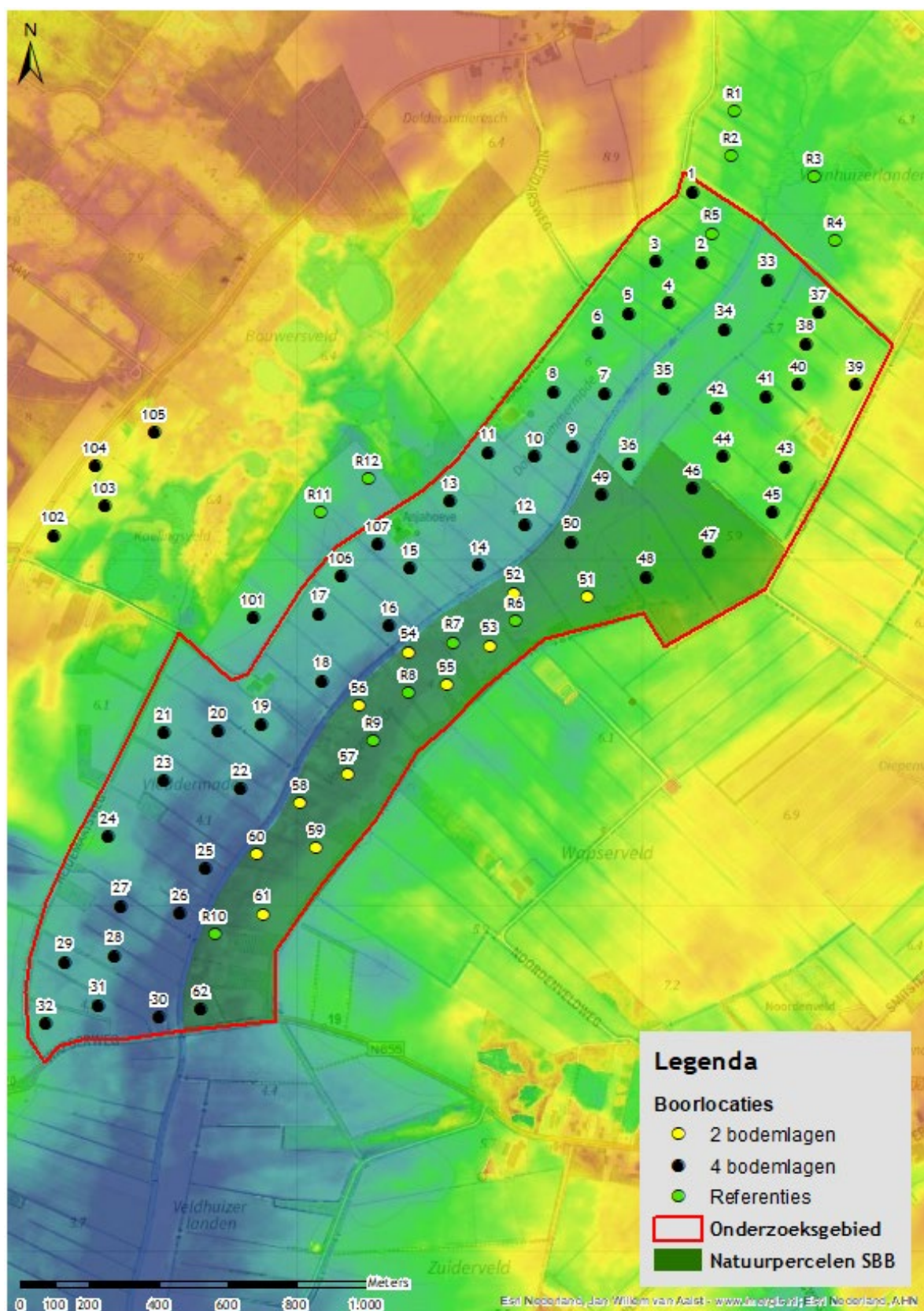
CODE	DATUM	X	Y	PEIL ONDIEPE BUIS	PEIL DIEPE BUIS	OMSCHRIJVING	BIJZONDERHEDEN
OW1	12-01-2022	213364	544027	-	-	Vledder Aa, ter hoogte van fase 1	
OW2	12-01-2022	211661	541681	-	-	Vledder Aa, nabij brug	
OW3	12-01-2022	212908	543804	-	-		
OW4	12-01-2022	213188	542901	-	-		
OW5	12-01-2022	212084	542913	-	-		
OW6	12-01-2022	211612	542675	-	-	smalle sloot	
OW7	12-01-2022	211345	542107	-	-	smalle sloot	
GW2	13-01-2022	211548	542249	8	25		
GW3	13-01-2022	211770	542124				GW via cup op 120 cm
GW4	13-01-2022	211852	542070				GW via cup op 120 cm
GW5	13-01-2022	211980	542017	116			
GW9	13-01-2022	212144	542973	39	34		
GW10	13-01-2022	212279	542850	65	36		
GW11	12-01-2022	212391	542757	31	19		
GW15	13-01-2022	212891	543720				GW via cup op 120 cm
GW17	13-01-2022	213124	543546	100			
GW18	13-01-2022	213393	543366	95			
GW100	13-01-2022	213039	543613				GW via cup op 120 cm

Tabel 4. Overzicht van de bemonsterde referentielocaties. Voor de ligging van de locaties zie Figuur 10.

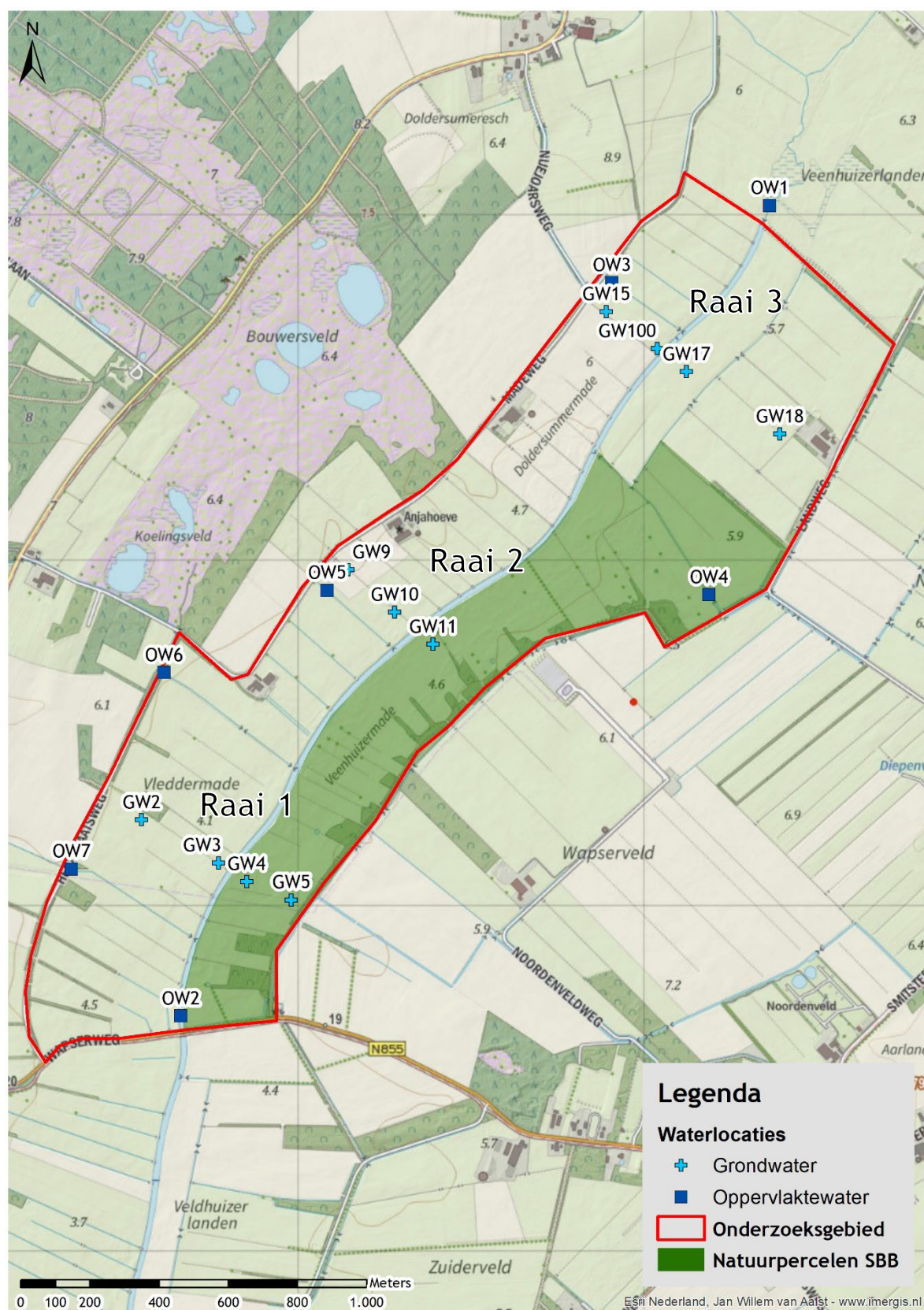
CODE	DATUM	X	Y	DIEPTE	BODEMTYPE	OMSCHRIJVING
R1	12-1-2022	213264	544298	0-15	veraard, licht zandig veen	gemaaide zone, ijzerrijk
R2	12-1-2022	213253	544168	0-15	zandig veen	voedselrijker grasland met kruiden
R3	12-1-2022	213493	544108	0-15	humeus zand	geïnunderde ijzerrijke zone, gemaaid, pitrus en grassen
R4	12-1-2022	213553	543923	0-15	humeus zand/ zandig veen; vanaf 15 cm zwart zand	voedselrijker grasland
R5	12-1-2022	213198	543945	0-15	zandig veen	grasland met kruiden
R6	12-1-2022	212631	542823	0-15	venig zand	zone met blauwe knoop, afgezet
R7	12-1-2022	212449	542762	0-15	veraard veen	geïnunderde zone met dotters en pitrus
R8	12-1-2022	212322	542616	0-15	veraard veen met houtresten	geïnunderde zone met dotters en pitrus
R9	12-1-2022	212217	542476	0-15	veraard veen	geïnunderde zone, enkele dotters
R10	12-1-2022	211763	541917	0-15	zandig veen; vanaf 15 cm geel zand	drogere zone met witbol en smalle weegbree
R11	12-1-2022	212069	543139	0-15	geel zand	recent geplagd, o.a. stekelbrem, pitrus, struikhei en dophei
R12	12-1-2022	212204	543235	0-15	geel zand	recent geplagd, o.a. dophei en haarmossen



Figuur 10. Overzicht van de ligging van de bodemonsterlocaties in het onderzoeksgebied en referentielocaties op de topografische kaart.



Figuur 11. Overzicht van de ligging van de bodemonsterlocaties in het onderzoeksgebied en referentielocaties op de hoogtekarte (AHN3).



Figuur 12. Overzicht van de ligging van de watermonsterlocaties in het onderzoeksgebied op de topografische kaart. Het freatisch grondwater is bemonsterd in 3 raaien. Het diepe grondwater alleen in raai 2.

.....

Op 59 locaties (zwarte stippen in Figuur 10 en Figuur 11) werden op 4 diepten bodemonsters verzameld. De werd globaal de volgende bemonsteringsstrategie gehanteerd:

- Toplaag (0-20 cm-mv);
- Restant bouwvoor;
- 0-10 cm onder de bouwvoor;
- 10-20 cm onder de bouwvoor.

Op 10 locaties, gelegen in de natuurpercelen van Staatsbosbeheer (gele stippen in Figuur 10 en Figuur 11), zal een te voedselrijke toplaag waarschijnlijk niet worden afgegraven. Op deze locaties werden op 2 diepten bodemonsters verzameld:

- Toplaag (0-20 cm-mv);
- 0-10 cm onder de toplaag.

De exacte bemonsteringsdieptes werden afgestemd op de bodemhorizonten. Hierdoor werd soms van de hierboven genoemde bemonsteringsdiepten afgeweken.

Op 12 referentielocaties (nat schraalland, vochtig hooiland of heischraal grasland) werden op 12 en 13 januari 2022 bodemonsters verzameld van de toplaag (0-15 cm-mv; mengmonster van 3 steken; Figuur 10).

Op 12 en 13 januari 2022 werd op 11 locaties het freatische grondwater bemonsterd (Figuur 12). Op grondwaterlocatie 3, 4, 15 en 100 stond alleen een diepe grondwaterbuis (filter > 3 m-mv; Tabel 3), hier werd freatisch grondwater uit het boorgat verzameld met een keramische cup. Op locatie 9, 10 en 11 werd naast het freatische grondwater, ook het diepere grondwater (filter > 5 m-mv) bemonsterd. In totaal werden er 14 grondwatermonsters verzameld. Daarnaast werden op 7 locaties oppervlaktewatermonsters verzameld (voor ligging zie Figuur 12).

De bodem- en watermonsters werden vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In paragraaf 3.2 worden de analysemethoden nader toegelicht.

3.2 Chemische analyse

Voor de bodemonsters 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 (voor een selectie van de bodemlagen);
- fosfaatverzadigingsgraad voor het inschatten van het risico op P-uitspoeling en P-mobilisatie bij vernatting (voor een selectie van de locaties).

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 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ 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 gedestruerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4°C bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in μmol per liter bodem.

Zoutextractie (NaCl-extractie)

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kan onder andere de pH, ammonium- en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden. Daarnaast kan op basis van de aluminium/calcium-ratio een goede inschatting gemaakt worden van de buffercapaciteit van de bodem. Voor een zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml $0,2 \text{ mol l}^{-1}$ 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 kan de concentratie ijzer- en aluminiumgebonden fosfaat worden bepaald. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 2,5 gram droog materiaal en met 50 ml extractiemedium ($(\text{COONH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$: $0,12 \text{ mol l}^{-1}$ en $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$: $0,12 \text{ mol l}^{-1}$) uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat werd niet-aangezuurd bewaard bij 4°C tot verdere analyse op de ICP-OES. 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 werd als volgt berekend:

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

Analyse grond-, oppervlakte- en poriewater

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 en watermonsters 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. ABIOTIEK REFERENTIELOCATIES EN BEOOGDE NATUURTYPEN

In dit hoofdstuk worden de bodemchemische condities op de referentielocaties beknopt toegelicht. Deze bodemmonsters dienen als een lokale referentie voor de interpretatie van de bodemchemische analyses van de om te vormen voormalige landbouwgronden. In paragraaf 4.1 worden de algemene referentiedata per natuurbeheertype toegelicht waarna in paragraaf 4.2 de referentiedata uit het onderzoeksgebied worden toegelicht.

4.1 Abiotische referentiedata beoogde natuurbeheertypen

Natte heide, vochtig-nat heischraal grasland, blauwgrasland en dotterbloemhooiland

Voor de ontwikkeling van soortenrijke vochtige tot natte 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):

- Natte heide: < (300-)500 $\mu\text{mol/l}$ bodem (totaal-P veelal < 2,5-3,0 mmol/l);
- Nat schraalland: (<) 300-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem;
- Vochtig hooiland: 300-800/900 $\mu\text{mol/l}$ bodem.

De kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden worden sterk bepaald door de Olsen-P en totaal-P concentraties in de bodem (zie Hoofdstuk 2).



Figuur 13. Foto van een vochtig heischraal grasland (foto: Mark van Mullekom) en dotterbloemhooiland (foto: Harm Smeenge).

Het bodemtype en de totale ijzer- en calciumconcentraties van de bodem zijn vooral relevant met het oog op de potentiële natuurbeheer-/habitattypen. Op calciumarme bodems (tot-Ca < 10 mmol/l) ligt de ontwikkeling van natte heide voor de hand. Om de ontwikkeling van nat schraalland (N10.01) en vochtig hooiland (N10.02) mogelijk te maken dient de bodem voldoende gebufferd te zijn. Soortenrijke vochtige heischrale graslanden (N10.01) komen over het algemeen voor bij Ca-z concentraties van 4.000-10.000 $\mu\text{mol/l}$ en Olsen-P concentraties van 150-400 $\mu\text{mol/l}$. Onder zeer natte condities kan een kleine zeggenvegetatie tot ontwikkeling komen. Bij concentraties van circa 10.000-25.000 $\mu\text{mol/l}$ (Ca-t veelal > 20 mmol/l) en Olsen-P concentraties van 200-500 $\mu\text{mol/l}$ kan een blauwgrasland worden ontwikkeld onder de juiste hydrologische omstandigheden (GRIP

database B-WARE). Op gebufferde, ijzerrijke bodems kan onder vochtige tot natte omstandigheden een dotterbloemhooiland (of elzenbroekbos) tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een kamgrasweide/glanshaverhooiland; onder zeer natte omstandigheden trilveen). De mate van buffering (en voedselrijkdom) die past bij de verschillende natuurtypen wordt indicatief weergegeven in Tabel 5.

Voor de ontwikkeling van blauwgrasland en vochtig hooiland is niet alleen de buffering van belang maar ook de grondwaterstanden. Alleen bij voldoende grondwaterinvloed tot in maaiveld zijn deze vegetaties mogelijk. Voor vochtig heischraal grasland kan aanrijking van de wortelzone met grondwater via capillaire opstijging ook al voldoende zijn. Of de bodem voldoende gebufferd blijft of (langzaam) verzuurt is afhankelijk van de periode waarin grondwater in de wortelzone uittreedt, de buffercapaciteit van het grondwater en de zuurproductie als gevolg van droogval van de toplaag in de zomerperiode en verzurende (stikstof)depositie.

Tabel 5. Overzicht van de verschillende bufferranges (11 categorieën) en fosfaatconcentraties (tussen haakjes de uitloop als een suboptimale concentratie) waarbij diverse natuurbeheertypen voorkomen (INDICATIEF). Voor dotterbloemhooilanden en elzenbroekbossen zijn hoge ijzerconcentraties vereist. Van blauwgrasland tot elzenbroekbos kunnen de totaal-P concentraties relatief hoog zijn als gevolg van ijzer- en/of calciumrijke omstandigheden. De fosfaatbeschikbaarheid voor planten (Olsen-P) is echter relatief beperkt. Het bekalkingsadvies is weergegeven in kg dolokal per hectare en dient ter voorkoming van verzuring en ter bevordering van de soortenrijkdom. Tevens wordt hiermee ammoniumophoping/-toxiciteit voorkomen (nitrificatie wordt geremd onder zure omstandigheden). Naast de mate van buffering zijn de hydrologische omstandigheden essentieel voor de ontwikkeling van de natuurbeheertypen (niet in deze tabel). Het herstellen van de grondwaterinvloed kan bijdragen aan het opladen van het kationuitwisselingscomplex en daarmee het herstel van de buffercapaciteit. Het betreft een indicatieve tabel op basis van expert judgement en referentiemetingen. Bron: van Mullekom & Smolders (2012).

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

.....

Wanneer na een eventuele ontgronding aanvullend verschrallingsbeheer vereist is duidt dit erop dat de bodem na ontgronding nog niet voldoende P-arm is voor de beoogde ontwikkeling. Een aanvullend verschrallingsbeheer biedt hier wel mogelijkheden om de gewenste P-concentraties binnen redelijke termijn te realiseren. Dit brengt echter ook risico's met zich mee. Onder licht/matig voedselrijke, vochtige tot natte omstandigheden kan de eerste jaren (wanneer aanvullende verschralling vereist is of wanneer voedselrijke toplagen worden vernat) verruiging met bijvoorbeeld pitrus optreden. Dit kan een belemmering vormen voor de beoogde ontwikkeling (Figuur 14). Overigens is de groei van pitrus op beperkt verrijkte bodems veelal ijler in vergelijking met voedselrijke bodems. Het is de vraag of dit risico wordt genomen of dat 10 cm extra wordt afgegraven waardoor de ontwikkeling van de doelvegetatie meteen kan gaan plaatsvinden en het risico op pitrusontwikkeling wordt beperkt.



Figuur 14. Pitrusontwikkeling op percelen die na inrichting nog beperkt tot matig verrijkt zijn met fosfaat. Aanvullend verschrallingsbeheer biedt hier wel perspectief. Door voldoende P-gelimiteerde omstandigheden te creëren en maaisel uit een referentiegebied op te brengen kan dit worden voorkomen. Foto's: Jan Vermeer en Maarten Veldhuis.

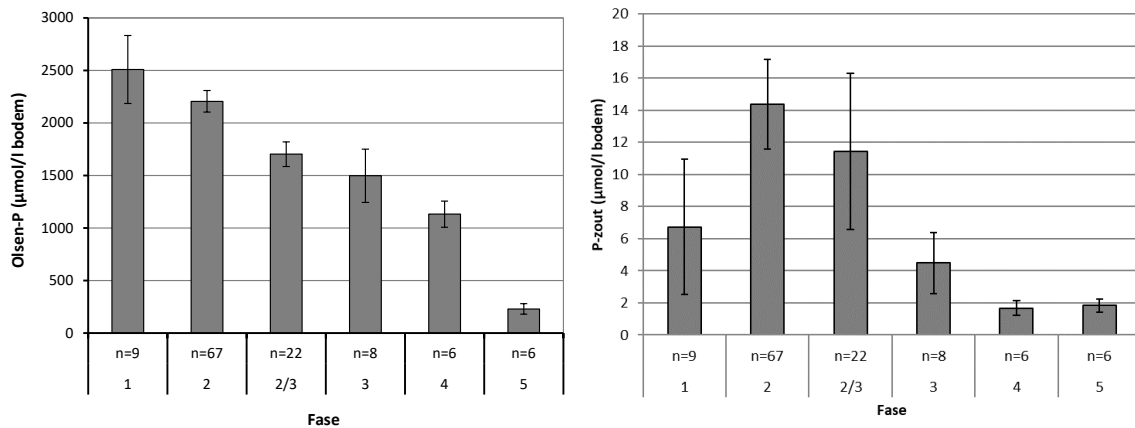
Kruiden- en faunarijk grasland

Uit 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 15 en Figuur 16). 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.

De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de meest labiele P-fractie voldoende laag is ($P\text{-z} < 1-2 \mu\text{mol/l}$) 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.

Overigens kunnen er op droge, voedselrijkere zandgronden ook kruidenrijkere graslanden tot ontwikkeling komen als gevolg van droogtestress en/of lage concentraties organische stof (eventueel in combinatie met tijdelijk akkerbeheer) (Dorland e.a., 2020; Eichhorn e.a., 2020). In het onderzoeksgebied zijn/worden de bodems waarschijnlijk te vochtig voor een dergelijke ontwikkeling (afhankelijk van de beoogde vernattingsmaatregelen).

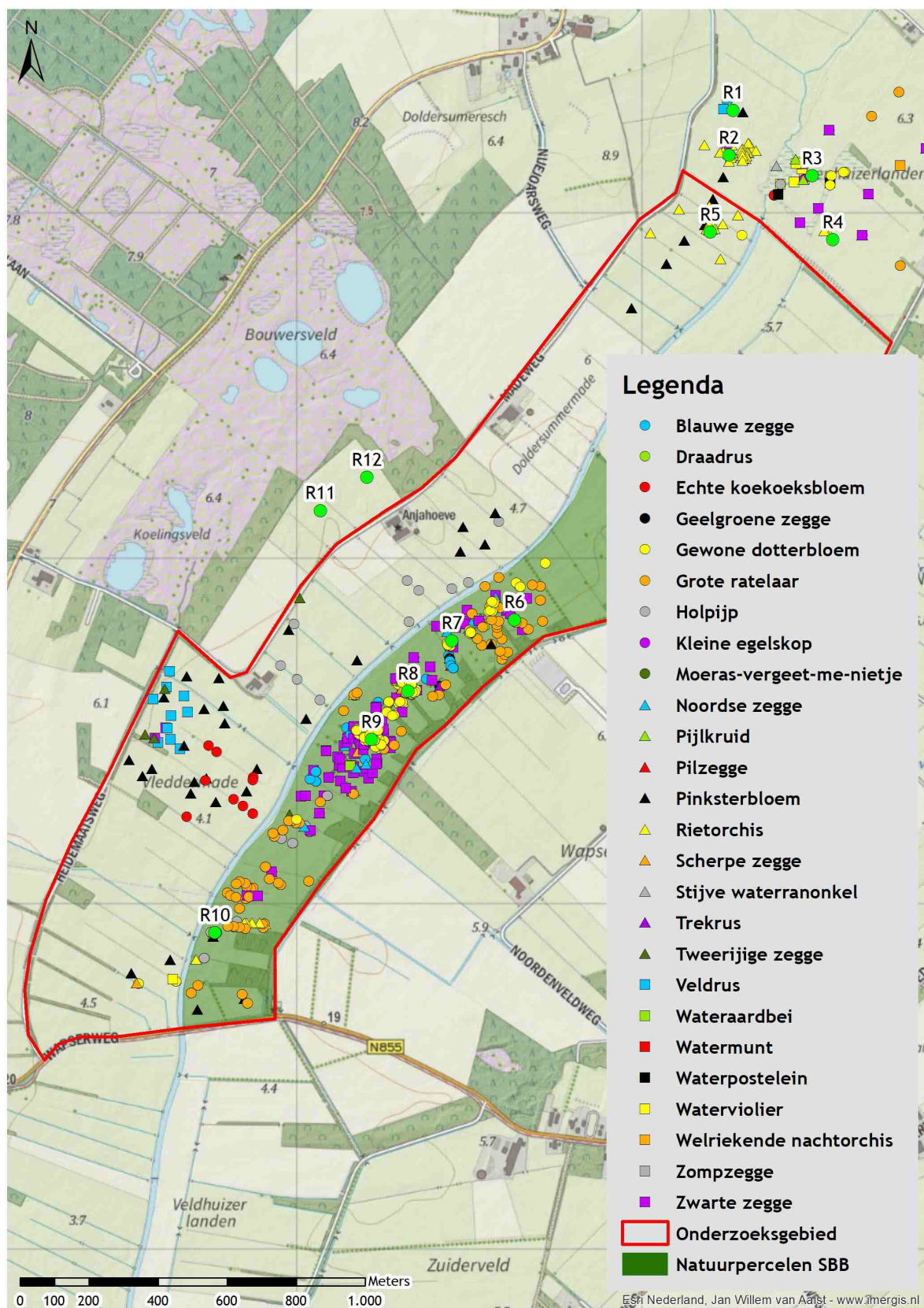


Figuur 15. Olsen-P (links) en P-z (rechts) concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem van graslandpercelen in Overijssel ingedeeld per graslandfase naar Schippers e.a. (2012). Verklaring graslandfasen (van voedselrijk naar schraal): fase 1 = raaigraslanden, fase 2 = witbolgraslanden, fase 3 = gras-kruidentmix, fase 4 = kruidenrijk grasland en fase 5 = heischraal grasland. Bron: Scherpenisse e.a. (2017).



Figuur 16. Foto's van een goed ontwikkeld droog (links; Winterswijk) en vochtig (rechts; Doetinchem) kruiden- en faunarijk grasland. Foto's: Mark van Mullekom.

Bureau Natuurbalans (contactpersoon: Peter Verbeek) heeft de laatste jaren goede resultaten ondervonden met de ontwikkeling van glanshaverhooiland en kruiden- en faunarijkgasland door middel van chopperen en gericht inzaaien op P-rijkere gronden. Door te chopperen wordt de dichte, soortenarme graszode verwijderd en ruimte gecreëerd voor de kieming van de doelsoorten. Na het chopperen wordt gericht zaadmengsel (bestaande uit zowel inheemse grassen als kruiden) van glanshaverhooiland of kruiden- en faunarijkgasland opgebracht. Deze methode bevindt zich echter nog wel in de experimentele fase, het is nog niet duidelijk of de ontwikkelde vegetaties zich op de lange termijn standhouden en waarom het op sommige gronden wel en niet werkt (mogelijk speelt stikstoflimitatie een rol).



Figuur 17. Kaart met een aantal indicatorsoorten die aanwezig zijn in het dal van de middenloop van de Vledder Aa. Bron vegetatiedata: Nationale Databank Flora en Fauna (NDF).

4.2 Bodemchemie referentielocaties

In aanvulling op het onderzoek op de landbouwpercelen, werd de bodemchemie in beeld gebracht op een aantal referentielocaties (Figuur 10). Het onderzoek op deze locaties dient ter referentie van het onderzoek op de landbouwpercelen. De referentielocaties werden o.a. geselecteerd op basis van het voorkomen van een aantal indicatorsoorten voor nat schraalland en vochtig hooiland (Figuur 17). Op de referentielocaties werd alleen de toplaag van de bodem (0-15 cm-mv) bemonsterd en geanalyseerd (Tabel 6).

Tabel 6. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) van de toplaag (0-15 cm-mv) op de referentielocaties R1 t/m R12. OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem; Ols-P = Olsen-P; -t = totale concentratie, Pbs = fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P/P-t), -z = zoutuitwisselbare (labiele) concentraties, BV = indicatieve basenverzadiging, M3/M5/M8 = berekende verschrallingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren (tot een streefconcentratie van 300/500/800 µmol Olsen-P /l) (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De Olsen-P en zoutuitwisselbare concentraties zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem.

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO ₃ -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	4001-8000	21-50	2-5	51-100	11-25	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	8001-15000	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

Loc.	Diepte	Grondsoort	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	S/MC	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO ₃ -z	NH ₄ -z	M3	M5	M8
R1	0-15	veraard, licht zandig veen	9	38	0,9	1662	20,6	0,08	237	35	234	13	8	13	10	0,21	57	15078	0,00	403	2586	5,1	89	4	6	1073	79	67	50
R2	0-15	zandig veen	8	32	1,0	2194	25,1	0,09	337	38	329	15	10	15	13	0,24	85	15354	0,01	187	2179	4,7	96	1	8	228	101	91	75
R3	0-15	humeus zand	9	37	1,0	1784	41,6	0,04	207	43	659	17	9	14	12	0,21	42	18212	0,00	299	2194	5,0	89	4	6	1097	162	141	108
R4	0-15	humeus zand/ zandig veen	9	33	1,0	1786	27,2	0,07	145	37	425	17	6	13	11	0,23	31	16576	0,00	243	4135	4,9	95	2	7	865	106	92	70
R5	0-15	zandig veen	12	33	1,0	1892	45,4	0,04	219	78	1315	31	6	14	16	0,18	14	23118	0,00	163	3023	5,2	99	2	88	116	179	157	123
R6	0-15	venig zand	14	36	0,8	890	8,3	0,11	250	17	266	34	7	10	16	0,58	1123	5998	0,19	248	1484	3,9	77	1	148	559	25	17	4
R7	0-15	veraard veen	59	71	0,3	237	12,8	0,02	200	115	459	45	3	5	35	0,29	16	26158	0,00	56	476	5,0	99	1	216	129	0	0	0
R8	0-15	veraard veen met houtresten	55	69	0,4	262	15,9	0,02	146	140	435	36	2	4	34	0,24	13	31990	0,00	51	127	5,3	100	1	214	102	0	0	0
R9	0-15	veraard veen	57	70	0,3	227	16,4	0,01	165	100	484	36	3	5	29	0,28	18	24666	0,00	39	433	5,1	99	2	131	183	0	0	0
R10	0-15	zandig veen	9	33	1,1	1501	16,8	0,09	177	37	332	22	8	15	16	0,31	76	14552	0,01	167	3202	4,7	97	2	216	211	63	53	37
R11	0-15	geel zand	0	16	1,6	231	2,3	0,10	204	11	101	49	10	12	0	0,01	43	3018	0,01	724	860	5,0	97	1	4	2	0	0	0
R12	0-15	geel zand	1	16	1,6	260	1,3	0,20	201	11	39	39	10	10	1	0,02	139	4541	0,03	678	893	4,7	95	2	6	19	0	0	0

In de Veenhuizerlanden, gelegen ten noorden van het onderzoeksgebied, werden op basis van de aanwezigheid van indicatorsoorten 5 referentielocaties bemonsterd (locatie R1 t/m R5 in Figuur 10 en Figuur 18). De humeuze zandbodem (organisch stof 8-14%) is nog rijk aan fosfaat (Olsen-P: 1662-2194 µmol/l en P-t: 20,6-45,4 mmol/l; Tabel 6). De bodem is goed gebufferd (Ca-t: 35-78 mmol/l en Ca-z: 15.000-23.000 µmol/l) en (zeer) ijzerrijk (Fe-t: 234-1315 mmol/l; Tabel 6). Dat de bodem ijzerrijk is ook te zien aan het ijzer dat onder natte omstandigheden uit de bodem wordt gemobiliseerd (Figuur 18).

Voor de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt voor Olsen-P een streefconcentratie van 800 µmol/l gehanteerd. Verschrallen van de toplaag op locatie R1 t/m R5 tot deze streefconcentratie vergt nog ca. 80-200 jaar (bodempakket van 25 cm; Tabel 6). De verwachting is dat de vegetatie op deze locaties nog lange tijd wat ruiger zal blijven. Onder invloed van ijzerrijk grondwater kan de verschralling worden versneld. De snelheid waarmee is echter lastig te kwantificeren.



Figuur 18. Impressie van twee wat rijkere referentielocaties, gelegen ten noorden van het onderzoeksgebied in de Veenhuizerlanden. Op locatie R1 is bemonsterd in een gemaaide zone (links) en nabij locatie R3 werd duidelijk zichtbaar ijzer uit de bodem gemobiliseerd. Voor ligging van de locaties zie Figuur 10. Foto's: Hilde Tomassen.

In de Veenhuizermade, het deel van het onderzoeksgebied ten oosten van de Vledder Aa, zijn 5 referentielocaties bemonsterd op de natuurpercelen van Staatsbosbeheer (locatie R6 t/m R10 in Figuur 10). In dit gebied kan onderscheid gemaakt worden in de referenties met een venige toplaag (R7 t/m R9: organisch stof 55-59%) en op een meer humeuze zandbodem (R6 en R10: organisch stof 9-14%; Tabel 6). De referenties met een zandige bodem zijn wat rijker aan fosfaat (Olsen-P: 890-1501 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,3-16,8 mmol/l; Tabel 6). Op locatie R6 is de bodem zwak gebufferd (Ca-t: 17 mmol/l en Ca-z: 6.000 $\mu\text{mol/l}$), zodat de ontwikkeling richting een heischraal grasland meer voor de hand ligt. Op deze locatie werd blauwe knoop aangetroffen (Figuur 19). Voor heischraal grasland is de bodem nog aan de rijke kant en is het advies om de ijzerrijke bodem verder te verschalen (ca. 25 jaar maaien en afvoeren) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$.



Figuur 19. Impressie van referentielocatie R6 (links) met blauwe knoop en de nog wat rijke referentielocatie R10 (rechts). Voor ligging van de locaties zie Figuur 10. Foto's: Hilde Tomassen.

Op locatie R10 is de bodem matig gebufferd (Ca-t: 37 mmol/l en Ca-z: 14.500 $\mu\text{mol/l}$), zodat de ontwikkeling richting een blauwgrasland of vochtig hooiland meer voor de hand ligt. Verschalen van de ijzerrijke bodem tot een Olsen-P streefconcentratie van 800 $\mu\text{mol/l}$ vergt nog een forse periode (ca. 60 jaar maaien en afvoeren).

Op locatie R7 t/m R9 is het veen (55-59% organische stof) arm aan fosfaat (Olsen-P: 227-262 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 12,8-16,4 mmol/l; Tabel 6). Het veen is goed gebufferd (Ca-t: 100-140 mmol/l en Ca-z: 24.500-32.000 $\mu\text{mol/l}$) en (zeer) ijzerrijk (Fe-t: 435-484 mmol/l; Tabel 6). De bodemchemie van de toplaag van het veen voldoet aan de voorwaarden voor blauwgrasland of vochtig hooiland. Op deze locaties zijn nu ook al dotterbloemen aanwezig (Figuur 17 en Figuur 20).



Figuur 20. Impressie van referentielocatie R8. Op deze locatie groeien lokaal dotterbloemen (rechts). Voor de ligging van locatie R8 zie Figuur 10. Foto's: Hilde Tomassen.

Referentielocatie R11 en R12 liggen nabij het Brouwersveld, ten westen van het onderzoeksgebied. Op deze locatie is de P-rijke bovengrond al eerder afgegraven en heeft zich een heide/heischraal grasland ontwikkeld (Figuur 21). De toplaag van de zandbodem is fosfaatarm (Olsen-P: 231-260 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 1,3-2,3 mmol/l; Tabel 6) en voldoet aan de streefconcentratie voor Olsen-P (300 $\mu\text{mol/l}$). De zandbodem is zwak gebufferd (Ca-t: 11 mmol/l en Ca-z: 3.000-4.500 $\mu\text{mol/l}$) en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 39-101 mmol/l; Tabel 6). Gezien de mate van buffering ligt inderdaad de ontwikkeling van een heide (R11) of heischraal grasland (R12) voor de hand. Ondanks de lage fosfaatbeschikbaarheid groeit er nog relatief veel pitrus op het perceel. Het is niet bekend in hoeverre er na afgraven maaisel is aangebracht, maar het aanbrengen van maaisel direct na afgraven onderdrukt de vestiging van ongewenste soorten als pitrus (zie paragraaf 2.3).



Figuur 21. Impressie van referentielocatie R11 (links) en R12 (rechts). Voor ligging van locatie R11 en R12 zie Figuur 10. Foto's: Hilde Tomassen.

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 en de bodemopbouw 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 en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn weergegeven in een overzichtstabel. In paragraaf 5.6 wordt ingegaan op de mogelijkheden om de eventueel af te graven toplaag te gebruiken bij het verondiepen of dempen van watergangen. In paragraaf 5.7 komen de mogelijkheden voor bosontwikkeling aan bod.

5.2 Bodemtype

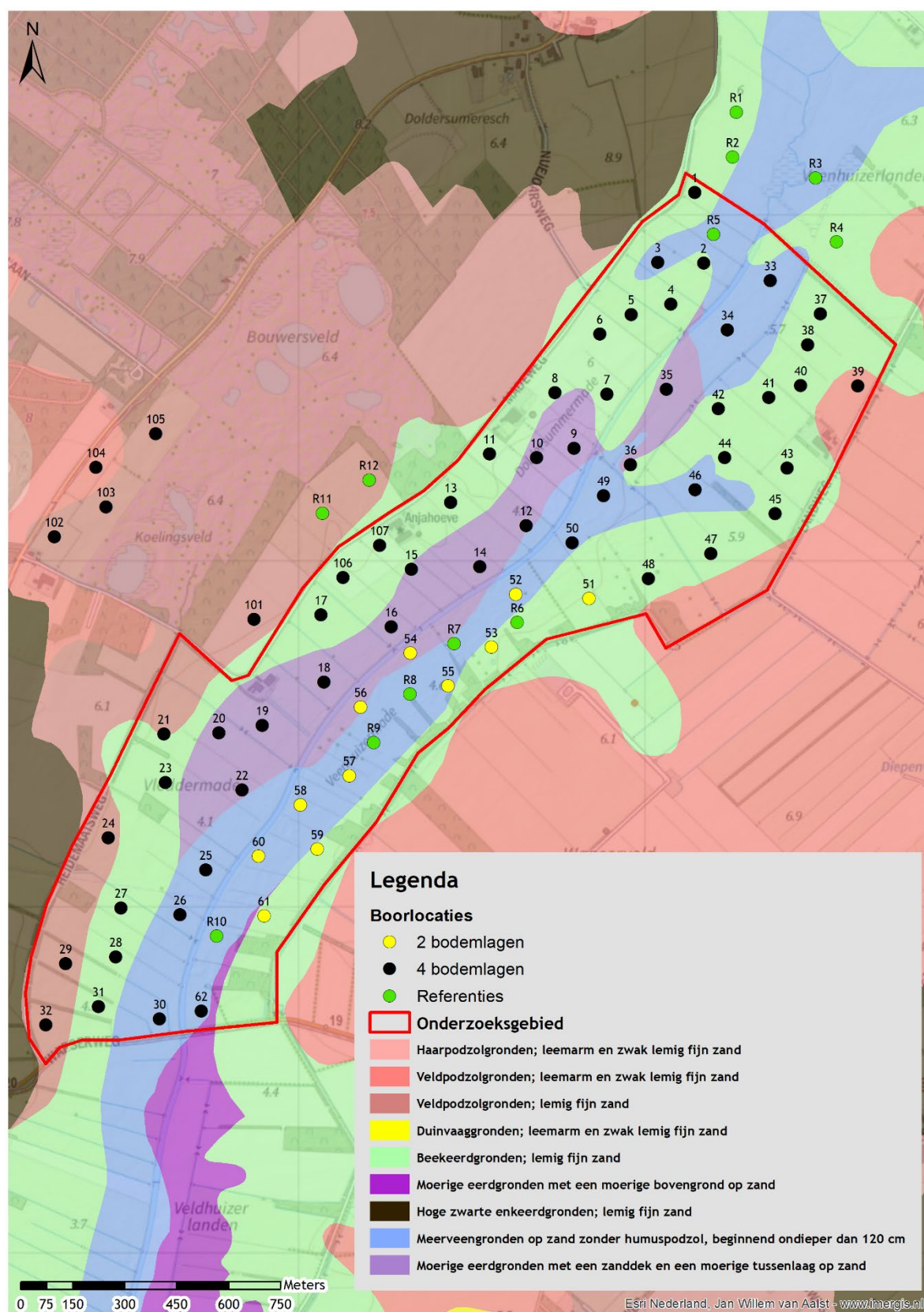
De onderzochte percelen in het dal van de Vledder Aa zijn vrijwel allemaal in gebruik als (natuurlijk) grasland (Figuur 22), uitgezonderd de akker waarop locatie 101 ligt (Tabel 2). De profielbeschrijvingen van de boorlocaties op de agrarische percelen worden gegeven in Bijlage 1. De dikte van de aangetroffen bouwvoor varieert van 10 tot 60 cm (Bijlage 1) en heeft op de meeste locaties een dikte van 20-30 cm. De bouwvoor is daarmee relatief dun en dit biedt kansen voor natuurontwikkeling.



Figuur 22. Impressie van het onderzoeksgebied. Foto's genomen op locatie 22 (links) en 52 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.

Bodemopbouw

De bodem in het dal van de middenloop van de Vledder Aa bestaat uit een toplaag van (dek)zand op een keilempakket van de Formatie van Drenthe. Rondom de (voormalige) beekloop van de Vledder Aa komt beekleem en veen voor. Volgens de bodemkaart van Nederland liggen in de lagere delen van het beekdal meerveengronden op zand en moerige eerdgronden met een zanddek (Figuur 23). Op de flanken van het beekdal liggen beekoordgronden (lemig fijn zand) overgaande in veldpodzolgronden met leemarm of (zwak) lemig fijn zand.



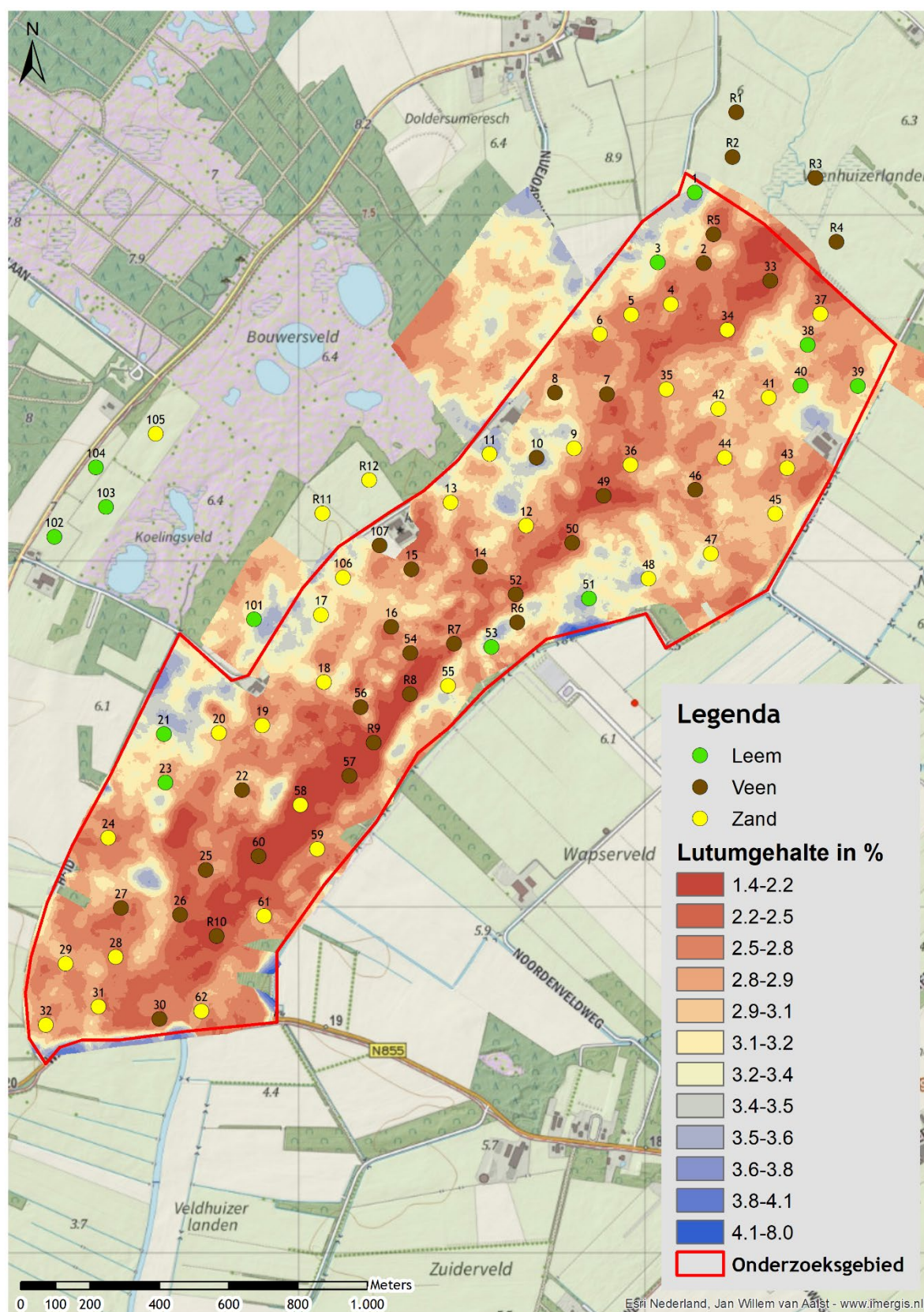
Figuur 23. Bodemkaart van de middenloop van het dal van de Vledder Aa (schaal 1:50.000). Bron bodemkaart: ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

.....

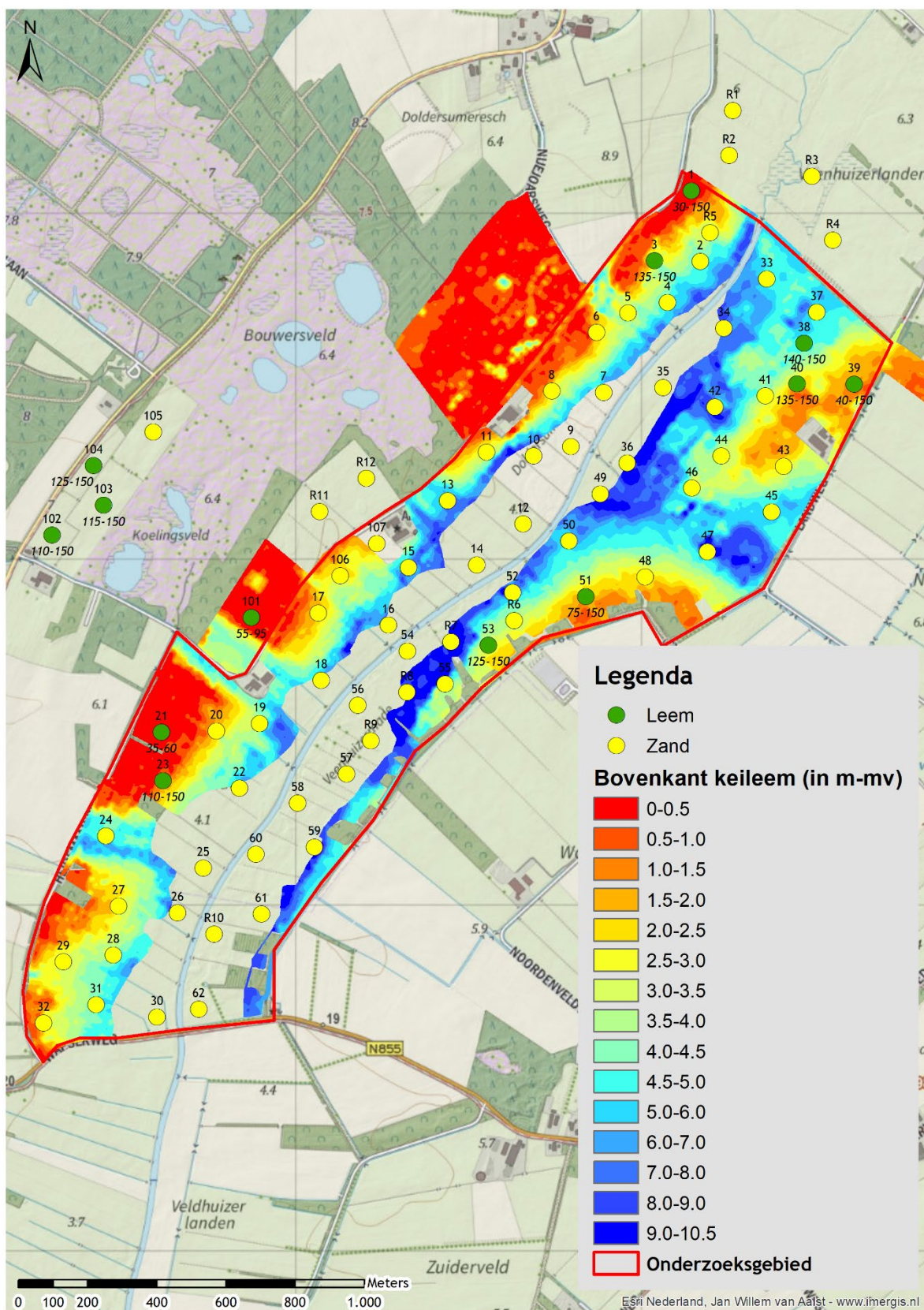
Recentelijk is de bodemopbouw van het beekdal met behulp van een grondradar in meer detail in beeld gebracht (Jonkman & de Vries, 2021; Ketelaar, 2021). Uit dit onderzoek blijkt aan de westelijke en oostelijke randen van het onderzoeksgebied de top van het keileem (dikte pakket ca. 3-5 m) al op minder dan 25 cm onder maaiveld begint en in de richting van de huidige beekloop wegduikt (Figuur 25; Jonkman & de Vries, 2021; Ketelaar, 2021). Boven het niveau van het keileem komt een 1 tot 2,5 m dik gelaagd pakket voor bestaande uit ondoorlatende leem- en veenlaagjes met zandige laagjes. In het centrale deel van het beekdal wordt dit gelaagde pakket vaak doorsneden of is het weg geërodeerd waardoor ondiepe ondoorlatende lagen ontbreken. In het centrale deel van het dal zijn oudere en jongere geulen aanwezig, waarbij de lageregelegen geulen in het Holoceen zijn opgevuld met veen. Deze veenlagen liggen vlak onder maaiveld (Figuur 26). De oude meanders van de Vledder Aa blijken sinds de laatste ijstijd op nagenoeg dezelfde plaats te hebben gelegen (Jonkman & de Vries, 2021; Ketelaar, 2021). Het lutumgehalte van de toplaag van de bodem (circa 0-50 cm -mv) varieert van 1,4 % tot lokaal 8 % (Jonkman & de Vries, 2021; Ketelaar, 2021). In de delen van het beekdal met een laag lutumgehalte is veen aanwezig en op de locaties waar het keileem dicht aan het oppervlak ligt is het lutumgehalte hoog (Figuur 24).

Op basis van de bodemprofielbeschrijvingen (tot 150 cm-mv; Bijlage 1) is in Figuur 25 aangegeven op welke locaties leem is aangetroffen en in Figuur 26 op welke locaties veenpakketten aanwezig zijn. Op de boorlocaties waar volgens het grondradaronderzoek de bovenkant van het keileem op minder dan 150 cm-mv zit, is vrijwel altijd ook leem in het bodemprofiel aangetroffen. Op locatie 102 t/m 103, ten westen van het Koelingsveld, is ondiep ook leem aanwezig in het bodemprofiel (Figuur 25).

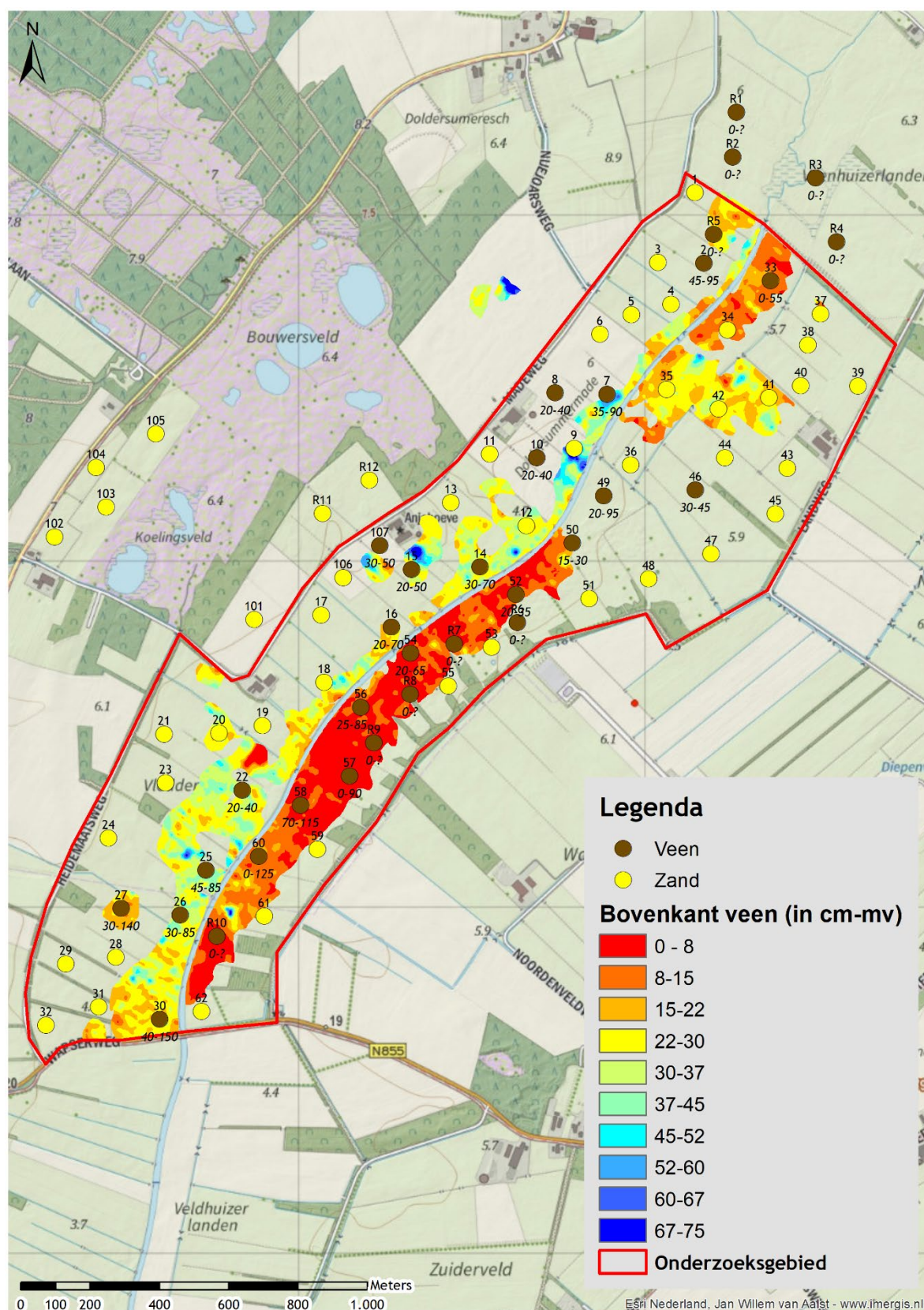
De ligging van de boorlocaties waar veenpakketten in het profiel zijn aangetroffen, komen grotendeels overeen met de veenkaart (Figuur 26). In het zuidelijke deel van het gebied is ten oosten van de Vledder Aa, grenzend aan de beek, een langgerekte zone met veen ondiep in het bodemprofiel aanwezig. Lokaal is het veenpakket meer dan 1 m dik (zoals op locatie 60; Bijlage 1). In het noordelijke deel van de middenloop van het beekdal komen de veenkaart en de profielbeschrijvingen niet altijd overeen. Op een aantal locaties waar in het boorprofiel veen is aangegeven blijkt uit de organische stof analyse (7-15% organische stof) dat er toch geen veen aanwezig is (zoals op locatie 2, 8 en 10; Tabel 10) en komt dus overeen met de veenkaart. Op locatie 49 is echter een 75 cm dik veenpakket (organisch stof > 65%; Tabel 10) aangetroffen in een zone waar volgens de veenkaart geen veen aanwezig is. Terwijl in de zone met locatie 34, 35, 41, 42 het op de bodemkaart aangegeven veenpakket niet werd aangetroffen.



Figuur 24. Ruimtelijke weergave van de boorlocaties waar leem, veen of alleen zand in de bovenste 1,5 m van de bodem is aangetroffen. Ondergrond kaart: kaart met het lutumgehalte van de toplaag van bodem in het beekdal (bron: Jonkman & de Vries, 2021).



Figuur 25. Ruimtelijke weergave van de boorlocaties waar leem in de bovenste 1,5 m van de bodem is aangetroffen (groene stippen). De getallen onder de stip geven de diepte (in cm-mv) aan waarop het leem is aangetroffen. Ondergrond kaart: kaart met de diepte van de bovenkant van het keileem (in m-mv) in het beekdal (bron: Jonkman & de Vries, 2021).



Figuur 26. Ruimtelijke weergave van de boorlocaties waar veen in de bovenste 1,5 m van de bodem is aangetroffen (bruine stippen). De getallen onder de stip geven de diepte (in cm-mv) aan waarop het veen is aangetroffen. Ondergrond kaart: kaart met de diepte van de bovenkant van het veen (in cm-mv) in het beekdal (bron: Jonkman & de Vries, 2021).

5.3 Waterkwaliteit

Oppervlaktewater

Op 7 locaties in het onderzoeksgebied werd de kwaliteit van het oppervlaktewater bepaald (OW1 t/m OW7; zie Figuur 12 voor ligging van de locaties). De kwaliteit van het oppervlaktewater werd op deze locaties ook al bepaald in juni en november 2021 door De Boer Advies & Uitvoering. Op 2 locaties werd de Vledder Aa bemonsterd (OW1 en OW2; Figuur 12 en Figuur 27). Op locatie OW3 t/m OW7 werd het water bemonsterd in sloten die afwateren op de Vledder Aa.



Figuur 27. Impressie van de Vledder Aa ter hoogte van locatie OW1 (links) en OW2 (rechts). Voor ligging van de locaties zie Figuur 12. Foto's: Hilde Tomassen.

Het oppervlaktewater van de Vledder Aa is ter hoogte van locatie OW1 licht gebufferd (pH 6,4 en alkaliniteit 645 $\mu\text{eq/l}$; Tabel 7). Ter hoogte van locatie OW2 is de buffering van het water veel hoger en is het water sterk gebufferd (pH 6,8 en alkaliniteit 1730 $\mu\text{eq/l}$; Tabel 7). Deze toename in buffering van het oppervlaktewater is in juni en november 2021 zichtbaar aan de concentratie bicarbonaat (HCO_3^- ; Tabel 7). Deze toename is het gevolg van voeding van de beek tussen locatie OW1 en OW2 met toestromend gebufferd grond- en/of oppervlaktewater of als gevolg van reductieprocessen in de waterbodem van de beek. Bij reductieprocessen wordt namelijk bicarbonaat gegenereerd. Tussen locatie OW1 en OW2 neemt ook de concentratie calcium toe waardoor toestroom van grondwater het meest aannemelijk lijkt. In november 2021 zijn op locatie OW2 de concentraties nitraat, sulfaat en chloride hoger dan op locatie OW1. Dit duidt op uitspoeling uit de aangrenzende agrarische percelen. In de zomermaanden wordt bij droogval van de bodem ammonium in de bodem geoxideerd tot nitraat en het mobiele nitraat(overschot) kan, met name na het groeiseizoen, uitspoelen naar de aangrenzende sloten en het grondwater. Sulfaat kan uitspoelen als gevolg van de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem. De sterke toename van chloride duidt op antropogene invloed tussen OW1 en OW2.

In januari 2022 werden verhoogde nitraatconcentraties gemeten op locatie OW3, OW4 en OW7, waarbij de concentraties door uitspoeling ook hoger zijn dan in juni en november 2021 (Tabel 7). De hoge ammoniumconcentraties op locatie OW4 en OW6 duiden op de nalevering van ammonium uit de waterbodem. Op locatie OW4 t/m OW7 zijn (te) hoge fosfaatconcentraties gemeten ($> 1 \mu\text{mol/l}$; Tabel 7). In juni en november 2021 waren de fosfaatconcentraties aanmerkelijk hoger dan in januari 2022, ook in de Vledder Aa. De hoge concentraties totaal-P in het oppervlaktewater duiden op de aanwezigheid van colloïdale P-rijke deeltjes. Bij een toename van de turbiditeit

(troebelheid) van het water neemt de totaal-P concentratie toe (Tabel 7). Bij de inundatie van voedselarme percelen kan met name de afzetting van P-rijke slibdeeltjes (in stagnante laagtes) een risico vormen voor verzuuring.

Tabel 7. Chemische samenstelling van het oppervlaktewater (OW1 t/m OW7) in januari 2022. In de tabel zijn ook de analysedata van het oppervlaktewater in juni en november 2021 opgenomen. Alk. = alkaliniteit in $\mu\text{eq/l}$ en EGV = elektrische geleidbaarheid in $\mu\text{S/cm}$. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in $\mu\text{mol/l}$. Voor ligging van de locaties zie Figuur 12. Bron analysedata juni en november 2021: De Boer Advies & Uitvoering.

Datum	Locatie	pH	Alk. $\mu\text{eq/l}$	EGV $\mu\text{S/cm}$	Turb. NTU	CO ₂ $\mu\text{mol/l}$	HCO ₃ $\mu\text{mol/l}$	NO ₃ $\mu\text{mol/l}$	NH ₄ $\mu\text{mol/l}$	PO ₄ $\mu\text{mol/l}$	Na $\mu\text{mol/l}$	K $\mu\text{mol/l}$	Cl $\mu\text{mol/l}$	Ca $\mu\text{mol/l}$	Fe $\mu\text{mol/l}$	Mg $\mu\text{mol/l}$	P $\mu\text{mol/l}$	S $\mu\text{mol/l}$
2-6-2021	OW1	6,74		147			901	39	10,7	3,0	522	159	451	399	66	160	5,2	56
2-6-2021	OW2	6,87		235			1803	14	7,1	2,0	478	64	451	948	41	140	3,2	125
2-6-2021	OW3	6,37		166			1147	79	7,1	2,9	522	153	262	424	104	144	6,1	78
2-6-2021	OW4	7,33		275			1803	14	9,3	0,6	739	146	705	1048	7	165	8,7	221
2-6-2021	OW5	6,47		287			1295	14	10,0	2,1	913	95	592	724	70	185	4,2	374
2-6-2021	OW6	7,01		125			705	14	37,1	10,7	435	97	262	274	38	156	19,1	109
2-6-2021	OW7	6,31		285			1016	14	10,0	6,1	609	194	423	674	136	313	14,2	405
2-11-2021	OW1	6,42		86			459	28	5,1	4,8	239	143	265	225	43	82	10,0	103
2-11-2021	OW2	6,43		215			1246	228	10,0	3,2	435	212	480	749	47	165	9,0	530
2-11-2021	OW3	6,09		146			475	214	7,1	5,5	431	220	508	349	13	103	7,7	259
2-11-2021	OW4	6,36		141			803	93	10,0	4,8	418	281	271	349	16	156	11,9	374
2-11-2021	OW5	6,37		108			426	26	8,6	3,9	348	151	310	232	63	74	8,7	343
2-11-2021	OW6	6,35		114			443	86	15,7	6,5	387	215	339	225	25	128	15,8	306
2-11-2021	OW7	5,80		193			377	121	27,1	13,9	565	161	423	574	61	247	19,1	998
12-1-2022	OW1	6,41	645	112	8	417	447	31	5,9	0,5	295	110	414	308	41	108	4,2	61
12-1-2022	OW2	6,80	1730	189	9	452	1178	27	8,7	0,2	411	75	376	685	54	117	4,6	100
12-1-2022	OW3	6,02	547	170	6	803	352	393	2,5	0,2	453	173	367	403	16	113	3,1	99
12-1-2022	OW4	6,28	967	191	10	999	791	173	85,2	1,7	476	267	341	438	13	216	6,8	127
12-1-2022	OW5	5,97	775	137	12	1147	444	39	14,9	1,2	565	142	480	359	76	102	7,9	146
12-1-2022	OW6	6,22	601	161	10	546	377	67	50,6	2,7	454	193	406	249	14	142	8,7	109
12-1-2022	OW7	5,35	523	225	15	3372	310	317	25,0	4,1	549	176	465	611	39	264	8,6	293

Grondwater

In het dal van de Vledder Aa zijn recentelijk door De Boer Advies & Uitvoering in raaien peilbuizen geplaatst. In aanvulling op het bodemchemische onderzoek werd in 3 raaien op 3-4 locaties de grondwaterkwaliteit in beeld gebracht (Figuur 12). In raai 2 werd zowel het ondiepe (filterdiepte < 2,5 m-mv) als het diepe grondwater (filterdiepte > 5 m-mv) bemonsterd en geanalyseerd. In raai 1 en 3 werd alleen het ondiepe, freatische grondwater bemonsterd. Op locaties waar een ondiep filter ontbreekt, werd grondwater met behulp van een keramische cup uit een boorgat (1,2 m-mv) verzameld.

De pH en buffercapaciteit (gemeten als bicarbonaat) van het grondwater varieert sterk. Vooral in raai 2, centraal in de middenloop van de Vledder Aa, is zowel het ondiepe als diepe grondwater sterk gebufferd ($\text{HCO}_3 > 1500 \mu\text{mol/l}$ en $\text{pH} > 6$; Tabel 8). In de zuidelijke raai 1 is het ondiepe grondwater zwak tot matig gebufferd ($\text{HCO}_3 < 1000 \mu\text{mol/l}$ en $\text{pH} 5,8-6,1$; Tabel 8). In de noordelijke raai 3 is dicht bij de Vledder Aa (locatie GW17 en GW100) het grondwater sterker gebufferd ($\text{HCO}_3 > 1300 \mu\text{mol/l}$) dan richting de flanken van het beekdal (locatie GW15 en GW18; $\text{HCO}_3 < 1000 \mu\text{mol/l}$).

Tabel 8. Chemische samenstelling van het grondwater in 3 raaien in januari 2022. Type: GW = grondwater en PW is poriewater uit boorgat; bk filter = bovenkant filter, ok filter = onderkant filter (diepte in m t.o.v. maaiveld); bodemtype = bodemtype ter hoogte van het filter/cup; EGV = elektrische geleidbaarheid in $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Fe/P = ijzer/fosfor-ratio in mol/mol. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in $\mu\text{mol}/\text{l}$. Voor ligging van de locaties zie Figuur 12. Bron technische gegevens peilbuizen: De Boer Advies & Uitvoering.

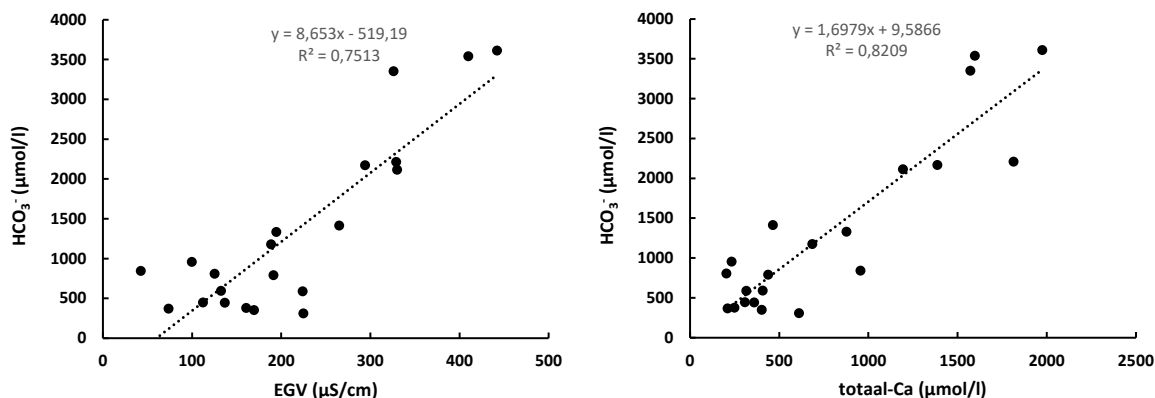
Locatie	Type	bk filter m tov MV	ok filter m tov MV	Diepte cup m tov MV	Bodemtype	pH	EGV $\mu\text{S}/\text{cm}$	CO ₂ $\mu\text{mol}/\text{l}$	HCO ₃ $\mu\text{mol}/\text{l}$	NO ₃ $\mu\text{mol}/\text{l}$	NH ₄ $\mu\text{mol}/\text{l}$	Na $\mu\text{mol}/\text{l}$	K $\mu\text{mol}/\text{l}$	Cl $\mu\text{mol}/\text{l}$	Al $\mu\text{mol}/\text{l}$	Ca $\mu\text{mol}/\text{l}$	Fe $\mu\text{mol}/\text{l}$	Mg $\mu\text{mol}/\text{l}$	P $\mu\text{mol}/\text{l}$	S $\mu\text{mol}/\text{l}$	Fe/P mol/mol
Raai 1																					
GW2	GW	-0,32	-1,32		zand	6,12	125	1464	808	2,5	20,3	300	305	227	40	205	48	192	27,0	42	1,8
GW3	PW			-1,20	zand	6,12	133	1091	593	7,0	98,2	193	45	123	6	407	4	164	1,0	64	4,4
GW4	PW			-1,20	zand/veen	5,92	43	2424	844	0,5	67,1	105	10	171	4	956	27	203	1,5	272	17,6
GW5	GW	-1,52	-2,52		zand	5,75	74	1598	370	0,8	1,5	123	31	104	25	210	10	158	0,7	42	15,1
Raai 2																					
GW9 ondiep	GW	-0,42	-1,42		zand boven leem	6,27	265	1847	1414	138,7	0,4	517	908	337	13	464	28	211	2,2	267	13,0
GW9 diep	GW	-5,00	-6,00		zand onder leem	6,48	330	1676	2115	0,5	17,1	769	87	543	3	1193	201	88	12,8	299	15,7
GW10 ondiep	GW	-1,95	-2,95		zand boven leem	7,18	326	540	3353	1,0	2,2	403	22	283	1	1572	100	136	13,2	2	7,6
GW10 diep	GW	-7,04	-8,04		zand onder leem	7,24	410	492	3539	6,5	2,2	403	12	282	0	1597	34	136	4,3	2	8,1
GW11 ondiep	GW	-1,97	-2,97		zand	6,23	329	3159	2211	0,3	7,3	356	12	440	2	1813	255	161	6,2	742	41,0
GW11 diep	GW	-6,39	-7,39		zand	7,31	442	428	3610	1,3	4,4	680	13	543	0	1974	43	161	3,3	364	13,1
Raai 3																					
GW15	PW			-1,20	zand	5,96	100	2537	956	1,2	87,4	190	14	180	10	234	27	124	1,0	49	27,5
GW17	GW	-1,84	-2,84		zand	6,16	294	3609	2170	44,6	1,7	530	657	420	5	1386	3	222	0,7	614	4,0
GW18	GW	-1,26	-2,26		zand boven leem	5,72	224	2694	588	0,1	6,0	743	333	615	8	316	198	215	1,6	364	124,1
GW100	PW			-1,20	veen	6,04	195	2936	1333	34,5	115,4	100	17	180	7	877	38	220	2,5	108	15,3

Op de locaties waar het grondwater anaeroob is bemonsterd via een boorgat zijn de concentraties ammonium het hoogste (Tabel 8). Dit is mogelijk een gevolg van de wijze van bemonstering. Tijdens de bemonstering van het grondwater uit peilbuizen kan er zuurstof bij het monster komen, waardoor eventueel aanwezig ammonium geoxideerd kan worden. Het ondiepe grondwater op locatie GW9 is verrijkt met nitraat ($139 \mu\text{mol}/\text{l}$; Tabel 8). Locatie GW9 grenst aan percelen die nog in agrarisch gebruik zijn. Het grondwater op locatie GW2, GW9 (diep) en GW10 (ondiep) is relatief rijk aan P ($> 10 \mu\text{mol}/\text{l}$). De verhouding tussen ijzer en fosfor in het grondwater is wel gunstig (Fe/P-ratio > 1), zodat er meer ijzer dan fosfor aangevoerd wordt. Met name in raai 2 is het grondwater ijzerrijk. Daarnaast is ook op locatie 18 een ijzerrijk grondwater gemeten.

Voor de ontwikkeling van grondwater gevoede natuurtypen zoals vochtig hooiland en blauwgrasland is het belangrijk dat het grondwater gebufferd en ijzerrijk is, maar arm aan nutriënten en sulfaat. Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties op de meeste locaties laag ($< 500 \mu\text{mol}/\text{l}$; Tabel 8). Het grondwater is wat rijker aan sulfaat op locatie GW11 (ondiep) en GW17. Dit sulfaat kan met het grondwater aangevoerd zijn, maar het kan ook vrijgemaakt worden bij de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de (veen)bodems bij droogte (oxidatie door zuurstof) of bij nitraatuitspoeling (oxidatie door nitraat). Sulfaat kan een probleem vormen aangezien het, net als nitraat, kan fungeren als alternatieve elektronenacceptor bij de anaerobe afbraak van organisch materiaal/veen en waarbij het sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide. Sulfide bindt sterk aan ijzer en kan leiden tot de mobilisatie van ijzergebonden fosfaat (interne eutrofiëring).

In juni, augustus en november 2021 zijn de pH en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van het grondwater ook gemeten. De EGV kan gebruikt worden als indicator voor de mate van buffering van het (grond)water. Er is dan ook sterk verband tussen de EGV en de concentraties bicarbonaat en calcium in het grond- en oppervlaktewater (Figuur 28). De EGV kan echter ook toenemen als gevolg van verontreinigingen zoals nitraat, sulfaat en chloride, dus om met zekerheid uitspraken te kunnen doen over de mate van baseraanrijking van het (grond)water zijn chemische analyses noodzakelijk. De EGV van het ondiepe grondwater is over het algemeen het hoogste in augustus of november (Tabel 9). De hogere EGV van het ondiepe grondwater is waarschijnlijk het gevolg van de hogere verdamping waardoor de concentraties toenemen. De EGV van het diepe grondwater is vrij constant en indiceert dat de samenstelling van het diepe grondwater vrij stabiel zal zijn. Op locatie GW11 ontbreekt het keileem, zodat bij voldoende kweldruk het diepe grondwater ook de

wortelzone kan bereiken. In de (venige) zone rondom locatie GW11 komen vrij veel dotterbloemen voor (Figuur 17).



Figuur 28. Verband tussen de EGV en de concentratie bicarbonaat (HCO_3^- ; links) en calcium (rechts) in het oppervlakte- en grondwater op 12 januari 2022. Voor analysedata zie Tabel 7 en Tabel 8.

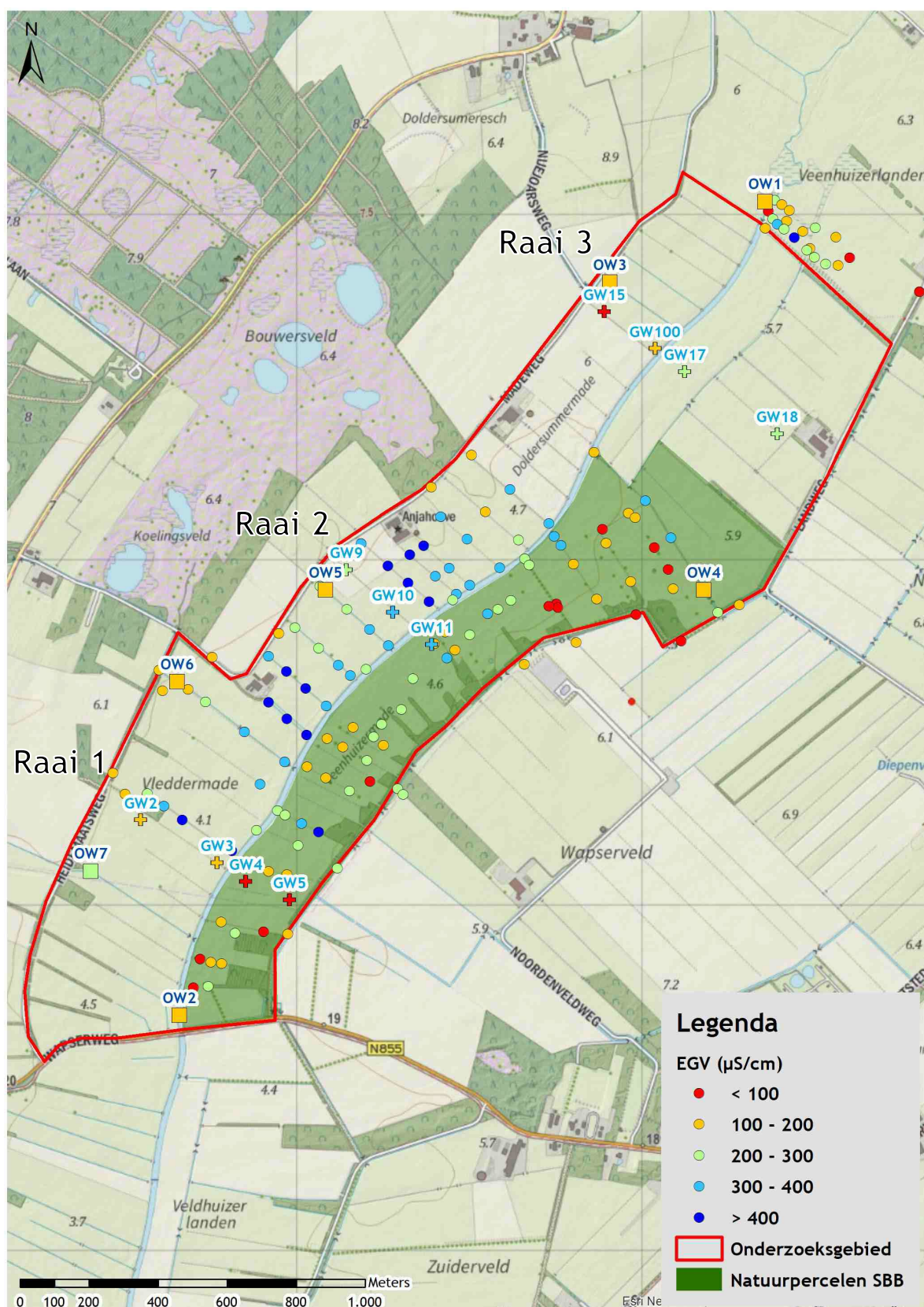
Tabel 9. pH en EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$) van het grondwater in juni, augustus, november 2021 en januari 2022. Voor ligging van de locaties zie Figuur 12. Bron metingen uit 2021: De Boer Advies & Uitvoering.

	pH					EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	4-6-2021	4-8-2021	2-11-2021	13-1-2022		4-6-2021	4-8-2021	2-11-2021	13-1-2022
GW2	5,97	6,15	6,11	6,12	GW2	195	128	106	125
GW5	6,63	6,42	5,98	5,75	GW5	74	70	71	74
GW9 ondiep	6,13	6,44	6,49	6,27	GW9 ondiep	265	532	570	265
GW9 diep	6,22	6,43	6,41	6,48	GW9 diep	314	351	340	330
GW10 ondiep	6,52	6,81	6,63	7,18	GW10 ondiep	323	323	325	326
GW10 diep	6,77	6,93	6,71	7,24	GW10 diep	317	312	323	410
GW11 ondiep	6,16	6,02	5,93	6,23	GW11 ondiep	410	443	420	329
GW11 diep	6,63	6,34	6,27	7,31	GW11 diep	407	427	431	442
GW17	6,44	6,26	6,26	6,16	GW17	417	565	532	294
GW18	6,64	5,64	5,71	5,72	GW18	290	306	303	224

EGV-metingen Staatsbosbeheer

Om inzicht te krijgen waar in het beekdal van de Vledder Aa sprake is van grondwaterinvloed in watergangen en plassen, werden op 20 en 26 januari 2022 een groot aantal EGV-metingen verricht door Staatsbosbeheer (de Meij, 2022). Uit deze EGV-metingen blijkt dat zowel in de Veenhuizermade (oostflank van het beekdal) als de Vleddermade (westflank van het beekdal) grondwater toestroomt vanuit de hoger gelegen gronden (de Meij, 2022). In Figuur 29 worden de EGV-metingen van Staatsbosbeheer ruimtelijk weergegeven. Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de EGV-metingen op de oppervlakte- en grondwaterlocaties weergegeven.

Ter hoogte van raai 2 is het grondwater het sterkst gebufferd (Tabel 8) en in deze zone, vooral aan de westflank van het beekdal in de Vleddermade, is ook in sloten en greppels een hoge EGV gemeten. Dit is inderdaad een indicatie dat de sloten en greppels worden gevoed met gebufferd grondwater. Van de sloten en greppels met de hoogste EGV ($> 400 \mu\text{S}/\text{cm}$) is de chemische samenstelling van het oppervlaktewater niet geanalyseerd. Aangezien de EGV hoger is dan van zowel het ondiepe als diepe grondwater, wordt het water in deze sloten waarschijnlijk aangerijkt met verontreinigingen zoals nitraat, sulfaat en/of chloride. Op 12 januari 2022 was de EGV op locatie OW7 het hoogste ($225 \mu\text{S}/\text{cm}$) en ook op deze locatie was sprake van enige aanrijking van het water met nitraat en sulfaat (Tabel 7).



Figuur 29. Ruimtelijke weergave van EGV-metingen in sloten, greppels, poelen, de Vledder Aa en in plassen op het maaiveld op 22 en 26 januari 2022. Op de kaart is de ligging van de grond- en oppervlaktelocaties (data 12 en 13 januari 2022) aangegeven en de kleuren van de kruizen en vierkantjes komen overeen met dezelfde kleuren als de categorieën van de EGV-metingen (voor het grondwater alleen het ondiepe grondwater). Bron EGV-metingen: de Meije (2022).

.....

In het noordelijke en zuidelijke deel van het onderzoeksgebied (ter hoogte van raai 1 en 2) is het ondiepe grondwater minder goed gebufferd (Tabel 8 en Figuur 28). In de Veenhuizermade is de gemeten EGV in sloten en greppels ter hoogte van raai 1 vaak ook lager. Ter hoogte van raai 3 werden geen EGV-metingen verricht.

Op basis van de EGV-metingen is het waardevol om op de locaties waar een hoge EGV is gemeten (blauwe stippen in Figuur 28) aanvullende waterkwaliteitsmetingen te verrichten. Op basis hiervan kan vastgesteld worden in hoeverre de hoge EGV het gevolg is van aanrijking via gebufferd grondwater en in hoeverre er sprake is van verontreiniging door uitspoeling uit de aangrenzende agrarische percelen.

5.4 Algemene bodemchemie

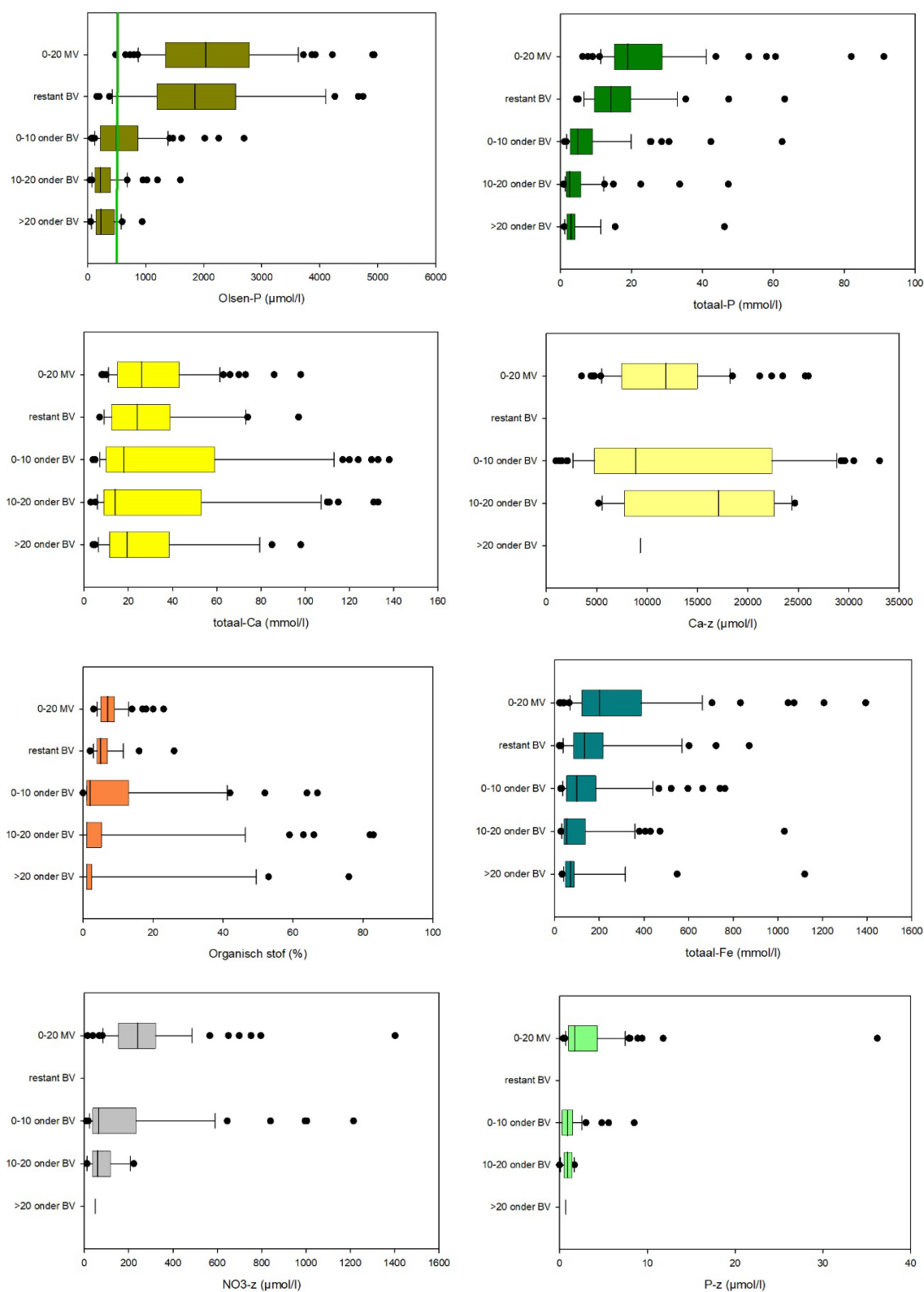
Voor het ontwikkelen van soortenrijke natuurtypen is het belangrijk dat de fosfaatbeschikbaarheid voldoende laag is. Voor het vaststellen van de fosfaatbeschikbaarheid van de bodem zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van belang, waarbij de Olsen-P concentratie een maat is voor de voor planten beschikbare fosfaatfractie. Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurtypen (zie paragraaf 4.1) 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: 100-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem (totaal-P veelal $<2,5 \text{ mmol/l}$);
- Vochtig heischraal grasland: 100-400 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Ca-z 4.000-10.000 $\mu\text{mol/l}$);
- Blauwgrasland: 200-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Ca-z 10.000-30.000 $\mu\text{mol/l}$);
- Vochtig hooiland: 300-800/900 $\mu\text{mol/l}$ bodem (Ca-z 14.000 $> \mu\text{mol/l}$);
- Kruiden- en faunarijk grasland: $\pm 1200 \mu\text{mol/l}$ bodem.

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.

Om een beeld te krijgen van de bodemchemische trends in de diepte zijn boxplots opgesteld voor enkele relevante parameters (Figuur 30). Hierbij is een onderscheid gemaakt in de toplaag van 0-20 cm-mv (Ap-horizont), het restant van de bouwvoor (Ap-horizont) en drie bodemlagen onder de bouwvoor (0-10, 10-20 cm en >20 cm onder de bouwvoor). Op deze manier wordt duidelijk of er een gradiënt qua voedselrijkdom aanwezig is in de bouwvoor, of de bodem onder de bouwvoor al voldoende voedselarm is en of er sprake is van P-uitspoeling onder de bouwvoor en hoe deze concentraties zich verhouden tot de streefconcentraties.

De toplaag van de bodems is verrijkt is met fosfaat (plantbeschikbaar fosfaat: overwegend 1300-2800 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en 15-28 mmol/l totaal-P). De P-concentraties nemen af in de diepte. Onder de bouwvoor zijn de P-concentraties fors lager, maar lokaal nog altijd hoger dan de streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P. Dit duidt erop dat de bodem onder de bouwvoor in het verleden verstoord is (mogelijk is er incidenteel dieper geploegd) of dat er sprake is van fosfaatuitspoeling naar bodemlagen onder de bouwvoor.



Figuur 30. Boxplots van de Olsen-P (inclusief bovengrens (groen) voor de ontwikkeling van schrale natuurtypen: 500 $\mu\text{mol/l}$), totaal-P, Ca-t, Ca-z, organische stof, Fe-t, $\text{NO}_3\text{-z}$ en P-z concentraties. In de boxplots is onderscheid gemaakt tussen de toplaag van de landbouwgronden 0-20 cm-mv (n=67), het restant bouwvoor (n=38), 0-10 cm onder de bouwvoor (n=67), 10-20 cm onder de bouwvoor (n=58) en >20 cm onder de bouwvoor (n=26). De Whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

De top laag van voormalige landbouwbodems is veelal verrijkt met calcium als gevolg van bekalking tijdens het landbouwkundig gebruik. Dat we in de boxplot onder de bouwvoor ook hogere concentraties meten is vooral het gevolg van de aanwezigheid van gebufferde veenbodems (zie organische stof boxplot in Figuur 30) en lemige bodemlagen (zie totaal aluminium boxplot in Figuur 30). De concentraties zoutuitwisselbaar calcium variëren van circa 2.500-28.000 $\mu\text{mol/l}$ en de totale calciumconcentraties van circa 7-112 mmol/l . De calciumconcentraties en de basenverzadiging onder de bouwvoor (Figuur 30) bieden perspectief voor de ontwikkeling van onder andere heischraal grasland en blauwgrasland onder de juiste hydrologische en voldoende P-arme condities. Op zuurdere zandbodems kan heide tot ontwikkeling komen en op meer gebufferde, ijzerrijke bodems dotterbloemhooiland.

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 het onderzoeksgebied is overwegend niet tot matig verrijkt met nitraat ($<600 \mu\text{mol/l NO}_3^-$). 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 4). 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.

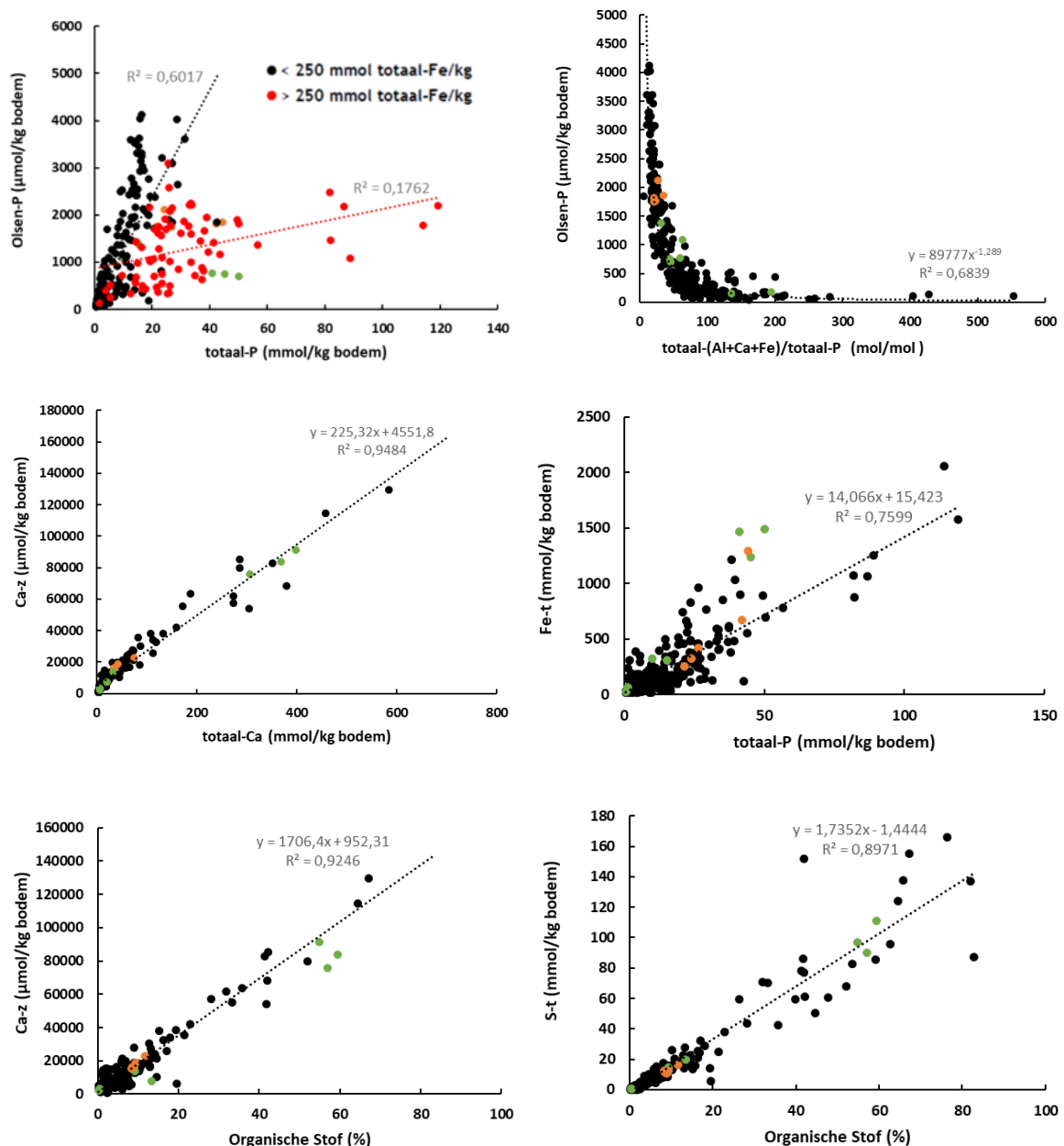
De uitspoeling van nitraat naar het grondwater kan wel een effect hebben op de ijzerconcentratie van het grondwater. Nitraatrijk grondwater bevat over het algemeen namelijk nauwelijks ijzer doordat opgelost ijzer (Fe^{2+}) wordt geoxideerd door nitraat en neerslaat in de bodem. Ijzerrijk grondwater is 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.

Op de lange termijn is het van belang dat de bodems niet verder uitlogen als gevolg van zure depositie (droge locaties; ook N-verrijking is ongewenst) en de vereiste droogval van de top laag in de zomerperiode. Op plekken waar vochtige tot natte natuur wordt ontwikkeld dient aanrijking van basen via het grondwater plaats te vinden in de natte periode om de buffering op peil te houden. Het is lastig om de duur van deze periode te kwantificeren.

Bodemcorrelaties

Een lage fosfaatbeschikbaarheid biedt, zoals beschreven in hoofdstuk 2, goede kansen voor de ontwikkeling van voedselarme natuur. In Figuur 31 worden correlaties tussen een aantal relevante bodemchemische variabelen weergegeven.

Er is vanwege de grote spreiding geen duidelijke correlatie tussen de Olsen-P (plantbeschikbaar fosfaat) en totaal-P concentratie aanwezig (Figuur 31, linksboven). De aangetroffen variatie duidt op grote verschillen in bodemchemie waarbij met name de ijzerconcentraties een belangrijke rol spelen: er kan een splitsing worden gemaakt tussen de zeer ijzerrijke ($>250 \text{ mmol Fe/kg}$) en ijzerarme tot ijzerhoudende ($<250 \text{ mmol Fe/kg}$) bodems. Bij hogere ijzerconcentraties is de Olsen-P concentraties lager bij dezelfde totaal-P concentratie. De totaal-P voorraad is daarnaast ook gecorreleerd aan de ijzervoorraad (Figuur 31, rechtsmidden): bij de afzetting van ijzer, via bijvoorbeeld het grondwater, wordt ook fosfor aangevoerd. Er is echter sprake van een overmaat aan ijzer waardoor de P-beschikbaarheid beperkt wordt.



Figuur 31. Correlaties tussen enkele bodemchemische variabelen in het onderzoeksgebied (zwarte stippen) en referentielocaties (groene stippen: locaties met $< 1500 \mu\text{mol/l}$ Olsen-P (R6-R12); oranje stippen: locaties met $> 1500 \mu\text{mol/l}$ (R1-R5)). In de correlatie tussen Olsen-P en totaal-P (linksboven) is onderscheid gemaakt tussen bodems met lage ijzerconcentraties ($< 250 \text{ mmol Fe-t/kg}$; zwarte stippen) en hoge ijzerconcentraties ($> 250 \text{ mmol Fe-t/kg}$; rode stippen).

De concentratie Olsen-P is namelijk niet alleen afhankelijk van de totaal-P concentratie. Fosfor kan namelijk zeer effectief worden 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. Ook calcium kan P-immobiliserend werken waarbij de vorming van relatief slecht oplosbare calciumfosfaat complexen belangrijk zijn. Dit calcium gebonden-P komt slechts zeer langzaam vrij door verweringsprocessen. Ook klei-/leemdeeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage: keileembodems zijn rijker aan tot-Al) zijn een sterke P-binder. Op plaatsen waar de bodem rijker is aan ijzer, calcium en/of aluminium ten opzichte van totaal-P, is de P-beschikbaarheid voor planten lager (Figuur 31, 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.

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. Kleideeltjes en organisch materiaal vormen een belangrijk deel van het bodemadsorptiecomplex in de bodem, zo worden vaak bij hoge organische stofgehaltenes ook hogere concentraties zoutuitwisselbaar calcium (Ca-z) gemeten.

Bij bodem-pH waarden hoger dan pH_w 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 speelt een belangrijke rol in het onderzoeksgebied. Als het bodemadsorptiecomplex volledig is opgeladen met basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^+) is de basenverzadiging 100%. Bij totaal-Ca concentraties onder de 20 mmol/l neemt de basenverzadiging over het algemeen steeds verder af. De basische kationen worden dan vervangen door zuurionen of aluminium (H^+ en Al^{3+}); de concentratie zuurionen in het bodemvocht neemt dan toe en de pH zal dalen. In niet tot zwak gebufferde bodems kan de bodem in de aluminiumbufferrange ($pH_w < 4,5$) komen waarbij de bodem wordt gebufferd door het oplossen van aluminiumhydroxides.

Voor de mate van buffering van de bodem is de concentratie zoutuitwisselbaar calcium zeer indicatief. In het gebied correleert de hoeveelheid zoutuitwisselbaar calcium goed met de totaal-calciumconcentraties (Figuur 31, links midden). De concentratie totaal-Ca kan in dit gebied dus ook, net als de concentratie Ca-z, worden gebruikt als een indicatieve parameter voor het vaststellen van de mate van buffering van een bodem. De zure (Ca-z $< 500 \mu\text{mol/l}$) tot zeer zwak gebufferde bodems (Ca-z $1.000\text{--}4.000 \mu\text{mol/l}$) passen bij heideontwikkeling. De zwak-matig gebufferde bodems passen bij de ontwikkeling van een droog schraalland of vochtig heischraal grasland (Ca-z ca. $4.000\text{--}10.000 \mu\text{mol/l}$). Bij Ca-z concentraties $> 10.000 \mu\text{mol/l}$ kan een blauwgrasland of dotterbloemhooiland worden ontwikkeld. De ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuurtypen is alleen mogelijk onder de juiste hydrologische condities en voldoende voedselarme omstandigheden.

Daarnaast correleert de concentratie zoutuitwisselbaar calcium goed met het organisch stof percentage (Figuur 31, linksonder). Organische bodems hebben een groot kationenuitwisselingscomplex (CEC) en zijn vaak rijker aan uitwisselbaar calcium. In organische stof zit zwavel ingebouwd en dit is de verklaring voor de sterke correlatie tussen organisch stof en zwavel (Figuur 31, rechtsonder).

5.5 Kansen voor natuurontwikkeling per locatie

Doel van het huidige onderzoek is om de kansen voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen als nat schraalland en vochtig hooiland op een aantal (voormalige) 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 de bodemchemische analyseresultaten weergegeven (Tabel 10). Vervolgens worden per locatie, door middel van een overzichtelijke adviestabel (Tabel 11) en kaartmateriaal (Figuur 32, Figuur 33 en Figuur 34) de potenties en geschikte maatregelen weergegeven. Het opstellen van een inrichtingsplan maakt geen onderdeel uit van deze opdracht, evenals de toetsing of een eventuele ontgronding past binnen het ecohydrologische systeem.

Tabel 10. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de locaties. OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem, Ols-P = Olsen-P ($\mu\text{mol/l}$); -t = totale concentratie (mmol/l), -z = zoutuitwisselbare concentraties ($\mu\text{mol/l}$), FVG = fosfaatverzadigingsgraad (%). M5/M12 = berekende verschrallingsduur (jaren) via maaien en afvoeren tot een streefconcentratie van 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	NO ₃ -z	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	$\mu\text{mol/l}$	mmol/l	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	jaren	
<5	<150	<10	<4000	<40	<1	<50	0	voldoende P-arm
6-10	151-250	10-20	4001-8000	41-100	2-5	51-100	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	8001-15000	101-250	6-10	101-200	11-40	matig kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	401-750	31-50	15001-25000	251-500	11-30	201-400	41-80	kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
>50	>750	51-80	25001-40000	501-800	31-50	401-800	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
		>80	>40000	>800	51-100	801-1200	201-400	ongeschikt voor verschralling I
					>100	>1200	>400	ongeschikt voor verschralling II

Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	P-O	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	FVG	M5	M12
1	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	4	20	1,4	3344	20,4	0,16	330	16	223	12	10	18	5	517	12566	0,04	259	1658	4,2	90	1,7	81	36		108	82
	20-30	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	3	19	1,3	3170	19,5	0,16	315	15	240	13	9	15	5											51	38	
	30-40	Leem, sterk zandig	C	2	15	1,5	201	2,7	0,08	610	61	467	198	43	82	1	312	23392	0,01	248	3013	4,1	94	1,5	182	78		0	0
	40-50	Leem, sterk zandig	C	2	14	1,6	175	1,9	0,09	597	62	380	235	46	83	0											0	0	
2	0-20	Zand, matig siltig, bv	AP	5	19	1,1	2931	29,6	0,10	156	27	433	16	6	9	8	59	11984	0,00	138	526	4,6	97	3,4	25	35		154	109
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	20	1,2	2588	32,6	0,08	166	28	568	18	5	10	8											82	55	
	30-45	Zand, matig siltig, omg	AB	3	15	1,3	1359	8,5	0,16	172	17	128	17	6	10	4	174	9804	0,02	191	545	4,4	93	1,0	47	24		25	5
	45-55	Veen	A	7	30	1,1	1599	47,3	0,03	189	35	1030	23	4	9	12	325	22393	0,01	235	2995	4,5	97	1,4	118	16		102	37
3	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	23	1,2	2528	32,0	0,08	407	36	387	13	9	18	13	328	14694	0,02	184	1867	4,6	95	1,8	314	141		160	105
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	23	1,2	2060	25,6	0,08	341	31	562	23	7	15	11											61	33	
	30-40	Zand, matig siltig	BC	1	14	1,5	627	5,4	0,12	318	21	114	25	8	18	4	226	10543	0,02	202	1159	4,4	92	0,3	39	12		3	0
	40-50	Zand	C	0	13	1,5	86	1,7	0,05	191	11	38	28	8	15	0											0	0	
4	0-15	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	19	1,1	1887	43,8	0,04	191	26	1394	32	3	8	10	139	12361	0,01	173	662	4,7	96	1,8	311	61		26	151
	15-25	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	20	1,3	2071	28,8	0,07	200	27	723	26	4	9	8											23	68	
	25-35	Zand	C	0	12	1,5	148	1,9	0,08	147	10	62	38	8	13	0	112	5032	0,02	261	491	4,2	82	0,0	10	4		7	0
	35-45	Zand	C	1	14	1,6	156	1,7	0,09	140	9	48	34	8	12	0											0	0	
5	0-15	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	25	1,3	1959	12,5	0,16	143	11	118	10	4	8	6	201	7119	0,03	200	2357	4,6	93	1,5	243	113		43	23
	15-25	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	22	1,4	2169	11,2	0,19	152	11	143	14	3	7	5											26	16	
	25-35	Zand	C	1	13	1,6	155	1,6	0,10	138	7	55	39	6	10	0	178	4221	0,04	294	591	4,6	87	0,3	74	18		0	0
	35-45	Zand	C	1	15	1,6	124	1,6	0,08	141	7	43	32	6	10	0											0	0	
6	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	BC	4	18	1,1	3719	16,5	0,22	161	14	65	5	9	9	8	60	6116	0,01	2832	2271	4,7	96	5,5	461	46		85	70
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	BC	3	15	1,2	4262	14,9	0,29	165	7	60	4	9	8	5											37	33	
	30-40	Zand, omg	BC	1	12	1,5	972	3,1	0,32	138	4	51	18	7	9	1	409	1539	0,27	1611	598	4,3	64	2,0	38	4		0	0
	40-50	Zand	BC	1	15	1,5	304	2,1	0,14	181	5	44	23	10	12	1											0	0	
7	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	19	1,2	2574	38,6	0,07	169	23	562	15	12	20	9	30	9290	0,00	3451	4254	4,8	98	2,0	393	72		194	129
	20-35	Zand, opg	A	3	16	1,3	1373	25,3	0,05	180	21	597	24	10	19	5	83	19638	0,00	3237	5229	4,8	98	1,5	1215	320		75	15
	35-45	Veen, begraven bodem	A	15	36	0,7	1205	22,6	0,05	244	31	406	19	7	15	13	36	7020	0,01	2410	2539	4,6	98	0,5	116	16		41	0
	45-55	Veen, begraven bodem	A	17	41	0,7	511	15,4	0,03	438	71	549	40	11	25	18											1	0	
8	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	26	0,9	1842	17,0	0,11	221	32	152	11	7	16	12	73	11755	0,01	1142	4072	4,9	98	1,0	272	54		77	37
	20-40	Veen, begraven bodem	A	13	34	0,8	790	12,2	0,06	402	52	352	33	3	14	22	174	20238	0,01	639	5784	4,6	98	0,6	254	26		28	0
	40-50	Zand	C	1	15	1,5	265	1,3	0,20	185	9	52	45	8	13	1	106	5189	0,02	396	1494	4,8	94	0,8	56	18		0	0
	50-60	Zand	C	0	14	1,5	167	1,0	0,16	167	10	43	51	9	13	0											0	0	
9	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	13	28	0,8	1341	17,2	0,08	219	34	245	16	9	20	17	45	12607	0,00	2862	5431	4,8	99	1,7	650	66		15	68
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	10	25	0,8	1827	16,3	0,11	190	21	218	15	7	15	12											18	37	
	30-45	Zand, omg	AB	4	19	1,2	364	2,7	0,14	81	21	65	32	3	8	6	87	10545	0,01	565	3169	5,0	98	1,5	170	80		5	0
	45-55	Zand	C	1	16	1,5	95	1,0	0,09	122	10	28	37	6	12	0											0	0	
10	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	10	29	1,0	1642	34,8	0,05	302	49	421	13	8	18	14	173	14442	0,01	1168	3727	4,6	97	1,0	292	26		151	59
	20-40	Veen, oude bodem	A	13	37	0,9	441	10,2	0,04	466	82	221	30	10	30	16	40	28340	0,00	488	4294	4,9	98	1,3	400	720		0	0
	40-50	Zand	C	2	19	1,6	318	4,7	0,07	251	34	80	24	11	24	5	15	11350	0,00	410	1775	5,2	99	0,9	84	53		0	0
	50-60	Zand	C	1	13	1,6	231	3,5	0,07	197	23	85	31	12	24	2											0	0	
11	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	9	26	0,9	483	7,7	0,06	333	51	202	33	8	23	13	78	16822	0,00	658	5178	4,8	99	1,1	290	53		0	0
	20-35	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	3	16	1,3	202	5,0	0,04	343	39	93	27	10	26	4											0	0	
	35-45	Zand	C	1	14	1,4	94	2,4	0,04	191	20	45	27	10	18	1	10	8482	0,00	268	1843	5,2	99	0,0	37	7		0	0
	45-55	Zand	C	1	15	1,6	108	2,2	0,05	140	15	40	25	9	17	0											0	0	
12	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	9	26	0,9	1610	27,1	0,06	228	47	298	13	6	18	12	50	15625	0,00	132	3169	4,7	99	1,6	415	51		117	43
	20-35	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	20	22	0,4	174	3,2	0,05	124	30	57	27	3	8	6											0	0	
	35-45	Zand, sterk siltig	BC	1	15	1,4	123	2,2	0,06	164	22	37	27	7	17	1	7	9884	0,00	195	1530	5,3	99	0,0	33	6		0	0
	45-55	Zand, sterk siltig	BC	3	21	1,3	233	5,7	0,04	355	53	99	27	16	37	5											0	0	
13	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	11	15	0,5	846	12,5	0,07	136	30	148	14	2	7	9	60	8531	0,01	66	1234	4,7	99	0,2	115	14		32	0
	20-35	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	5	11	0,7	268	5,2	0,05	175	39	135	34	3	12	5											0	0	
	35-45	Zand, omg	C	1	14	1,4	127	3,1	0,04	134	20	51	23	8	18	0	13	8997	0,00	211	1648	5,3	99	0,0	53	3		0	0
	45-55	Zand, omg	C	1	16	1,4	162	2,6	0,06	127	18	49	26	8	17	1											0	0	

Bodem- en hydrochemisch onderzoek middenloop Vledder Aa
RP-21.182.22.9

Vervolg Tabel 10.

Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	P-O	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	FVG	M5	M12	
14	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	9	29	1,0	2290	18,7	0,12	186	27	140	9	5	13	13	158	12220	0,01	220	1616	4,5	95	0,9	121	248		91	56	
	20-30	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	19	21	0,4	739	10,2	0,07	96	24	95	12	2	6	8												10	0	
	30-40	Veen	A	16	19	0,4	198	9,5	0,02	232	154	140	31	5	21	34	10	12972	0,00	33	1640	5,2	100	0,2	287	45		0	0	
	40-50	Veen	A	46	35	0,2	30	3,2	0,01	100	68	38	34	2	10	14												0	0	
15	0-20	Zand, sterk siltig en matig humeus, bv	AP	6	21	1,0	3866	27,6	0,14	166	21	138	6	9	13	11	344	8323	0,04	2691	1715	4,1	90	8,9	796	371		150	119	
	20-35	Veen	A	15	34	0,7	1264	18,5	0,07	178	38	164	11	5	12	15	158	14676	0,01	1251	3416	4,7	98	1,0	840	90		52	4	
	35-50	Veen	A	13	34	0,8	383	9,4	0,04	454	76	203	30	10	32	14												0	0	
	50-60	Zand	C	2	18	1,4	543	3,9	0,14	130	18	58	20	8	15	2												1	0	
16	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	12	32	0,8	1637	33,1	0,05	230	44	405	14	5	14	14	82	15738	0,01	151	2201	4,7	98	0,8	237	45		144	55	
	20-30	Veen	A	21	43	0,7	868	28,5	0,03	224	59	741	28	4	13	18	32	25512	0,00	187	4238	5,0	100	0,2	395	72		38	0	
	30-40	Veen	A	40	60	0,4	350	14,9	0,02	186	85	239	22	2	13	24												0	0	
	40-50	Veen	A	53	72	0,3	209	9,7	0,02	155	77	97	18	1	11	21												0	0	
17	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	25	0,9	1576	23,6	0,07	269	35	281	13	7	17	14	280	12032	0,02	165	1688	4,3	95	1,0	566	104		103	35	
	20-30	Zand, omg	BC	2	14	1,3	654	4,6	0,14	184	15	83	21	8	15	2												3	0	
	30-40	Zand	C	1	57	1,4	442	3,6	0,12	193	14	89	29	10	19	2	362	17098	0,02	481	6692	4,7	97	1,1	223	30		0	0	
	40-50	Zand	C	1	14	1,4	238	2,4	0,10	197	13	72	35	11	21	1												0	0	
18	0-15	Zand, sterk siltig en matig humeus, bv	AP	8	26	0,9	1853	17,8	0,10	165	36	135	10	6	20	12	85	13890	0,01	137	2494	4,5	98	1,3	294	66		61	29	
	15-30	Zand, sterk siltig en matig humeus, bv	AP	5	20	1,1	696	9,5	0,07	182	37	145	19	7	25	8												13	0	
	30-45	Zand, sterk siltig en matig humeus, bv	AP	5	23	1,1	377	8,6	0,04	226	73	174	29	7	24	12												0	0	
	45-55	Zand	C	1	16	1,5	203	3,3	0,06	155	27	64	28	9	19	3	4	6769	0,00	235	1775	5,7	99	0,0	31	19		0	0	
19	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	BC	5	17	1,0	2788	15,2	0,18	123	10	106	8	4	8	7	363	4427	0,08	160	884	4,1	81	1,2	195	34		77	54	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	BC	4	16	1,0	2454	12,2	0,20	103	9	113	10	3	7	5												29	20	
	30-40	Zand, matig siltig	BC	2	12	1,4	1321	4,8	0,28	152	8	56	13	7	13	1	389	3891	0,10	377	878	4,1	72	0,9	66	30		6	1	
	40-50	Zand	C	0	12	1,4	140	1,5	0,10	139	6	30	25	7	13	0													0	0
20	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	9	26	0,9	2098	18,7	0,11	160	26	148	9	4	10	10	150	11811	0,01	169	1522	4,6	97	0,6	267	48		89	50	
	20-30	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	11	30	0,8	1417	17,4	0,08	193	41	179	13	4	12	14												35	8	
	30-40	Zand	C	1	18	1,4	207	3,6	0,06	157	26	54	22	8	19	2	25	10345	0,00	220	1843	4,9	98	0,0	58	28		0	0	
	40-50	Zand	C	1	17	1,5	216	3,2	0,07	167	27	61	27	11	27	2													0	0
21	0-20	Zand, sterk siltig en matig humeus, bv	AP	3	19	1,4	4220	23,2	0,18	251	13	147	7	7	15	4	558	6641	0,08	367	560	4,3	80	0,7	184	261		126	104	
	20-35	Zand, matig siltig, omg	BC	2	15	1,5	2018	12,0	0,17	281	12	205	18	9	17	1	374	8273	0,05	543	1265	4,3	85	0,0	176	34		42	23	
	35-45	Leem, uiterst zandig	C	1	14	1,6	501	6,9	0,07	429	28	293	46	25	50	0	160	23226	0,01	426	8676	4,5	98	0,0	60	10		0	0	
	45-55	Leem, uiterst zandig	C	2	15	1,5	144	2,4	0,06	435	29	205	99	29	54	0													0	0
22	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	13	34	0,8	1196	30,8	0,04	242	61	398	15	7	18	17	77	17725	0,00	222	2514	4,7	99	0,8	1402	69		112	0	
	20-40	Veen	A	28	54	0,5	210	9,0	0,02	304	138	184	36	6	26	22	16	28775	0,00	116	3866	5,4	100	1,0	996	155		0	0	
	40-50	Klei, matig humeus	B	5	26	1,2	135	6,0	0,02	267	66	83	25	13	35	8	5	18835	0,00	226	2813	5,6	100	0,5	150	110		0	0	
	50-60	Zand	C	1	19	1,5	129	3,2	0,04	170	30	52	26	11	23	2													0	0
23	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	19	1,4	2405	11,6	0,21	196	15	75	8	6	13	5	322	6631	0,05	287	1306	4,4	88	1,1	203	78		35	54	
	20-35	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	2	17	1,4	1007	6,8	0,15	235	18	87	15	5	14	4												17	16	
	35-50	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	2	18	1,5	1694	10,7	0,16	217	18	81	9	5	14	4												32	35	
	50-60	Zand	C	1	13	1,5	519	3,2	0,16	206	14	99	35	11	21	1	34	7033	0,00	381	2961	4,9	97	0,0	52	34		0	0	
24	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	17	1,1	3492	17,4	0,20	177	15	42	3	8	11	8	221	7178	0,03	1288	2437	4,3	92	7,4	365	42		90	71	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	17	1,1	3994	15,6	0,26	189	13	39	3	8	10	8												39	34	
	30-40	Zand, matig siltig	B	2	12	1,3	2260	6,0	0,37	257	5	28	5	8	14	4	478	3280	0,15	2108	894	4,3	75	2,3	93	34		9	9	
	40-50	Zand	BC	1	8	1,4	548	2,0	0,27	232	3	29	16	10	16	1													0	0
25	0-15	Zand, matig siltig, opg	AC	6	24	1,1	988	8,9	0,11	149	26	66	10	7	21	10	59	10022	0,01	185	4282	4,7	98	1,3	454	79		21	0	
	15-30	Zand, matig siltig, opg	AC	2	17	1,4	367	4,6	0,08	181	23	69	20	9	22	4													0	0
	30-45	Zand, matig siltig, opg	AC	2	16	1,5	118	5,3	0,02	292	33	81	21	12	34	3													0	0
	45-60	Veen	A	6	23	1,3	320	8,8	0,04	462	64	153	25	12	36	16	40	26752	0,00	938	2251	4,8	92	0,6	0	2101		0	0	
	60-70	Veen	O	13	37	0,9	638	11,9	0,05	297	59	163	19	8	23	20													8	0
26	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	17	37	0,6	654	17,1	0,04	243	73	298	22	5	20	21	29	16772	0,00	449	4355	5,0	99	0,4	699	75		25	0	
	20-30	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	26	58	0,4	159	4,5	0,04	54	97	95	43	1	10	25													0	0
	30-40	Veen	O	42	68	0,3	66	1,6	0,04	22	74	31	65	1	6	16	6	22068	0,00	178	2782	5,5	99	2,3	62	569		0	0	
	40-50	Veen	O	63	74	0,2	75	2,5	0,03	33	110	51	66	1	9	23													0	0
27	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	22	1,1	2053	14,8	0,14	152	26	85	7	6	13	8	103	9396	0,01	172	1986	4,7	97	6,5	236	96		70	38	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	24	1,1	1869	15,5	0,12	147	34	97	8	6	13	9												35	17	
	30-40	Veen	A	16	37	0,7	573	16,4	0,03	135	83	144	14	4	11	18	31	22962	0,00	159	2190	5,4	99	3,0	476	136		6	0	
	40-50	Veen	A	83	78	0,2	81	2,8	0,03	28	133	48	64																	

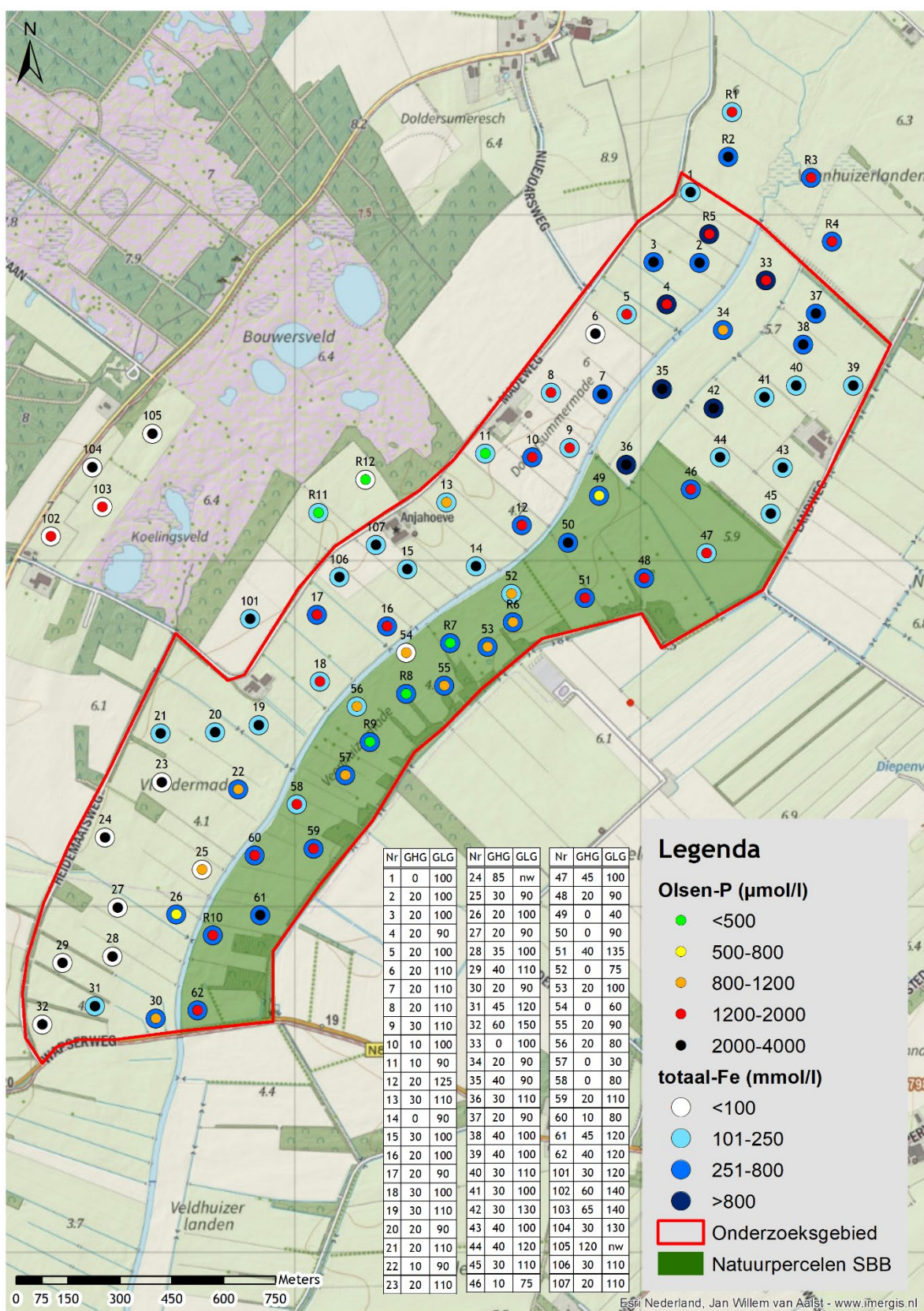
Vervolg Tabel 10.

Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	P-O	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	FVG	M5	M12	
33	0-20	Veen, bv	AP	18	45	0,8	1673	91,2	0,02	121	86	1207	14	4	20	22	51	26004	0,00	202	6243	4,9	99	1,7	462	163	400	161	
	20-40	Veen	O	42	62	0,3	371	30,6	0,01	43	130	432	18	1	16	27	25	23463	0,00	149	4471	5,1	99	1,6	1004	669	0	0	
	40-55	Veen	O	45	69	0,3	202	12,2	0,02	81	111	200	25	1	15	16											0	0	
	55-65	Zand, matig humeus	BC	2	23	1,3	340	4,0	0,09	191	43	88	33	10	26	4											0	0	
34	0-15	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	19	1,2	1188	40,4	0,03	138	26	705	18	4	15	7	19	11707	0,00	222	4745	5,0	99	0,8	250	58	110	0	
	15-25	Zand	C	0	12	1,5	95	1,6	0,06	137	10	42	33	7	16	0	20	4531	0,00	330	2969	6,0	99	1,0	37	85	0	0	
	25-35	Zand	C	0	13	1,5	58	1,0	0,06	119	7	38	45	7	15	0											0	0	
	35-45	Zand	C	0	14	1,6	347	4,3	0,08	131	12	79	21	8	17	0											0	0	
35	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	22	1,2	2181	60,6	0,04	201	66	833	15	8	20	11	9	21174	0,00	262	2822	5,2	100	8,0	285	53	35	292	170
	20-35	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	22	1,1	1244	47,4	0,03	194	73	602	14	6	17	11											34	133	8
	35-45	Zand, sterk siltig	BC	2	16	1,5	238	6,9	0,03	420	56	155	31	24	46	4	15	22182	0,00	859	3406	5,8	100	0,5	39	14	17	0	0
	45-55	Zand, sterk siltig	BC	1	16	1,4	298	6,1	0,05	240	30	96	21	16	30	1												0	0
36	0-15	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	18	1,2	2220	58,1	0,04	160	47	1046	19	6	14	11	35	15861	0,00	318	2382	5,0	99	9,4	196	88	211	125	
	15-25	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	17	1,2	1888	35,3	0,05	148	39	528	16	6	13	8											81	40	
	25-35	Zand	C	0	13	1,4	334	2,6	0,13	125	14	53	26	9	12	2	12	6890	0,00	369	1194	5,6	99	0,3	24	14	0	0	
	35-45	Zand	C	0	12	1,4	114	1,7	0,07	129	13	37	29	10	14	1											0	0	
37	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	22	1,1	2044	26,5	0,08	129	24	299	12	5	12	10	112	11727	0,01	235	3964	4,7	98	1,4	110	45	125	68	
	20-35	Zand, matig siltig	BC	2	14	1,3	658	3,9	0,17	133	12	61	19	8	13	2	78	9834	0,01	345	3666	4,9	97	1,7	47	36	4	0	
	35-50	Zand, matig siltig	BC	1	13	1,4	321	1,7	0,19	118	10	45	32	7	12	2											0	0	
	50-60	Zand	C	1	14	1,5	228	1,3	0,18	129	10	46	44	9	13	1											0	0	
38	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	22	1,0	3073	25,5	0,12	164	21	376	16	5	11	13	182	10388	0,02	239	2827	4,4	95	2,0	229	91	134	97	
	20-30	Zand, matig siltig	BC	3	16	1,3	1416	14,2	0,10	183	16	171	13	7	12	6	181	8433	0,02	297	1686	4,6	93	1,3	128	95	29	7	
	30-40	Zand, matig siltig	BC	1	13	1,4	579	3,5	0,16	185	12	68	23	8	13	3											1	0	
	40-50	Zand	C	1	13	1,5	170	2,2	0,08	177	12	48	27	10	16	1											0	0	
39	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	8	21	1,0	2580	15,5	0,17	156	13	122	9	6	9	8	469	6875	0,07	1331	1771	4,1	86	1,8	212	48	78	52	
	20-30	Zand, sterk siltig, omg	BC	1	13	1,4	1005	3,4	0,30	157	9	53	18	5	9	2	230	2907	0,08	570	1110	4,4	77	0,9	61	88	1	0	
	30-40	Zand, sterk siltig, omg	BC	2	14	1,4	354	7,9	0,04	277	10	429	55	8	21	2											0	0	
	40-50	Leem, sterk zandig	C	4	23	1,3	942	46,2	0,02	538	21	1121	25	24	52	3	395	9326	0,04	959	4466	4,1	91	0,7	49	129	68	0	
40	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	20	1,3	3924	34,2	0,11	179	14	172	5	7	13	7	183	8023	0,02	302	2860	4,4	93	4,7	247	83	187	148	
	20-40	Zand	C	1	13	1,5	2696	62,5	0,04	196	13	177	3	11	18	2	143	6524	0,02	777	2811	4,7	94	4,8	24	22	318	217	
	40-55	Zand	C	1	11	1,6	1023	4,6	0,22	263	13	82	20	15	41	1											8	0	
	55-65	Zand	C	1	9	1,6	486	2,7	0,18	216	10	71	30	14	29	1											0	0	
41	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	22	1,2	3429	20,0	0,17	149	16	147	8	7	11	9	154	8983	0,02	1316	2832	4,5	95	1,7	114	104	106	81	
	20-30	Zand	C	1	13	1,4	1471	5,4	0,27	146	7	56	12	8	12	2	322	7271	0,04	787	3526	4,3	88	1,1	57	152	8	3	
	30-40	Zand	C	1	13	1,5	394	2,4	0,16	143	9	46	23	8	14	1											0	0	
	40-50	Zand	C	1	15	1,5	598	2,6	0,23	127	7	48	22	8	12	2											0	0	
42	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	10	26	1,0	2469	82,0	0,03	162	43	1073	14	7	19	16	32	15522	0,00	1025	5882	4,8	99	3,7	183	82	409	264	
	20-35	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	20	1,1	1509	63,2	0,02	193	41	872	14	7	17	12											198	61	
	35-45	Zand, sterk siltig, matig humeus	A	13	34	0,9	449	8,3	0,05	249	60	152	26	6	18	13	16	15201	0,00	2263	5260	5,2	100	0,6	83	34	0	0	
	45-55	Zand, sterk siltig, matig humeus	A	6	25	1,3	328	8,9	0,04	314	53	169	25	11	24	12											0	0	
43	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	20	11	1,4	3606	19,0	0,19	254	20	116	7	8	18	8	127	9202	0,01	237	3785	4,4	93	5,8	154	138	100	79	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	19	1,3	2543	12,4	0,20	222	16	88	8	7	14	7											29	20	
	30-40	Zand	BC	2	14	1,4	722	2,9	0,25	175	14	56	24	6	11	2	194	8741	0,02	235	2992	4,8	95	2,3	51	38	0	0	
	40-50	Zand	C	1	16	1,5	309	1,4	0,21	138	9	30	27	7	9	2											0	0	
44	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	26	0,8	2208	24,3	0,09	147	34	176	9	5	18	13	19	11870	0,00	184	5071	4,9	98	5,7	368	288	117	69	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	21	1,0	1749	18,2	0,10	154	27	178	11	5	15	9											41	18	
	30-45	Zand	BC	2	11	1,4	298	2,5	0,12	171	10	63	30	8	16	1	19	4492	0,00	508	2845	5,3	98	0,4	24	21	0	0	
	45-55	Zand	C	0	13	1,5	200	2,0	0,10	171	11	42	26	9	17	1											0	0	
45	0-15	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	20	1,0	2174	17,5	0,12	137	23	120	8	5	11	9	61	9131	0,01	219	3720	4,8	98	4,5	210	77	63	37	
	15-30	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	22	1,0	2083	17,0	0,12	131	22	117	8	5	11	8											61	34	
	30-45	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	25	1,1	1039	11,6	0,09	176	37	165	17	5	13	12											28	0	
	45-55	Zand	C	0	13	1,6	338	1,7	0,19	147	9	37	26	8	14	1	17	4857	0,00	406	1769	5,2	98	0,7	32	18	0	0	
46	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	25	1,0	1743	22,3	0,08	137	54	285	15	6	16	12	7	18484	0,00	137	3299	5,1	99	1,8	138	82	100	44	
	20-30	Zand, matig siltig	C	2	17	1,2	609	7,6	0,08	128	29	152	24	8	15	5											4	0	
	30-45	Veen	A	33	54	0,4	597	33,6	0,02	87	70	358	13	2	7	29	14	22629	0,00	247	2147	5,1	96	1,4	32	897	26	0	
	45-55	Zand	C	1	15	1,5	232	2,0	0,12	112	13	69	41	8	14	3											0	0	
47	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	23	1,1	1551	13,7	0,11	142	25	131	11	4	10	9	100	11354	0,01	224	1991	4,5	96	1,9	201	175	27	58	19
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	20	1,0	1558	12,4	0,13	140	22	126	12	4	8	7													

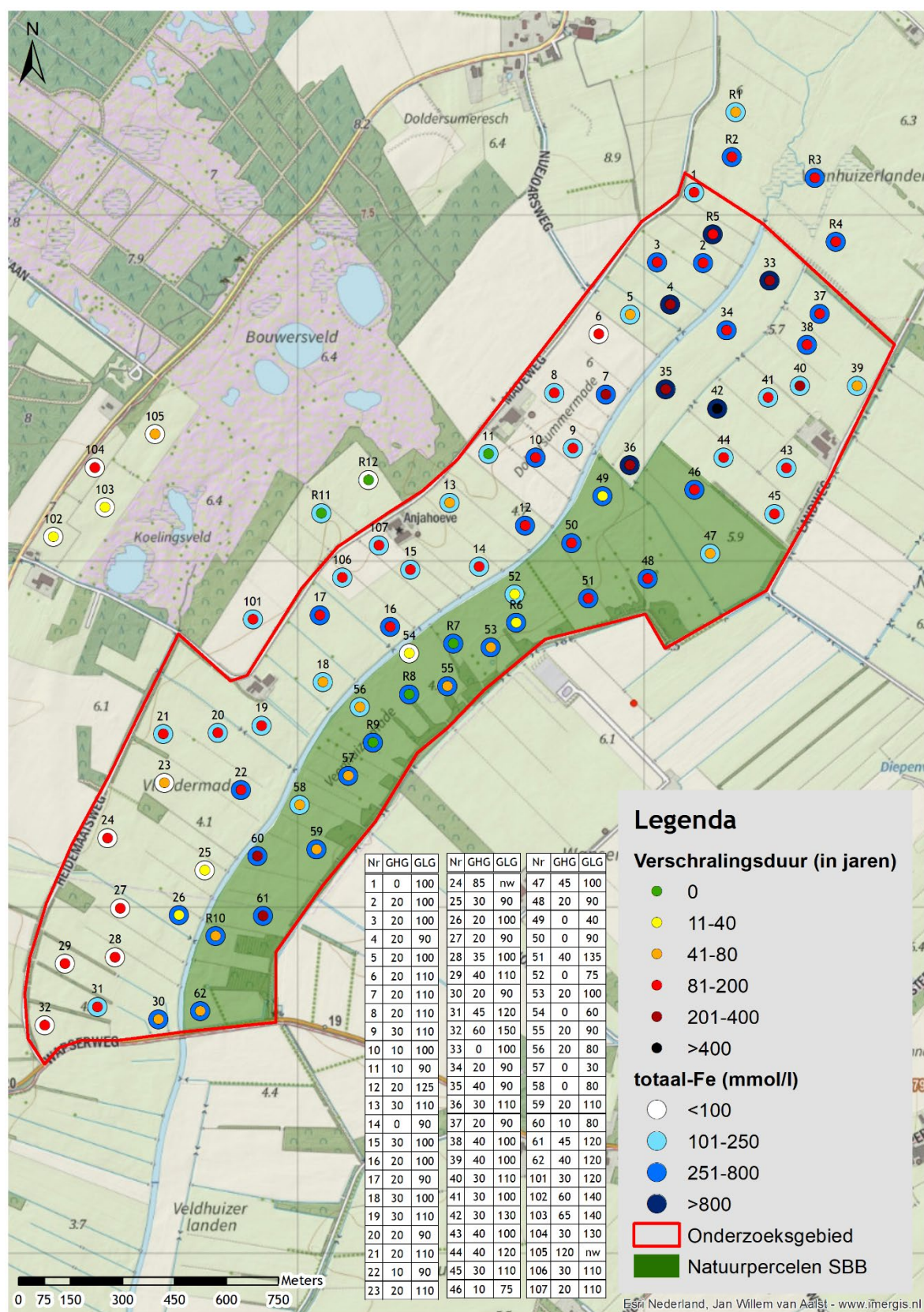
Bodem- en hydrochemisch onderzoek middenloop Vledder Aa
RP-21.182.22.9

Vervolg Tabel 10.

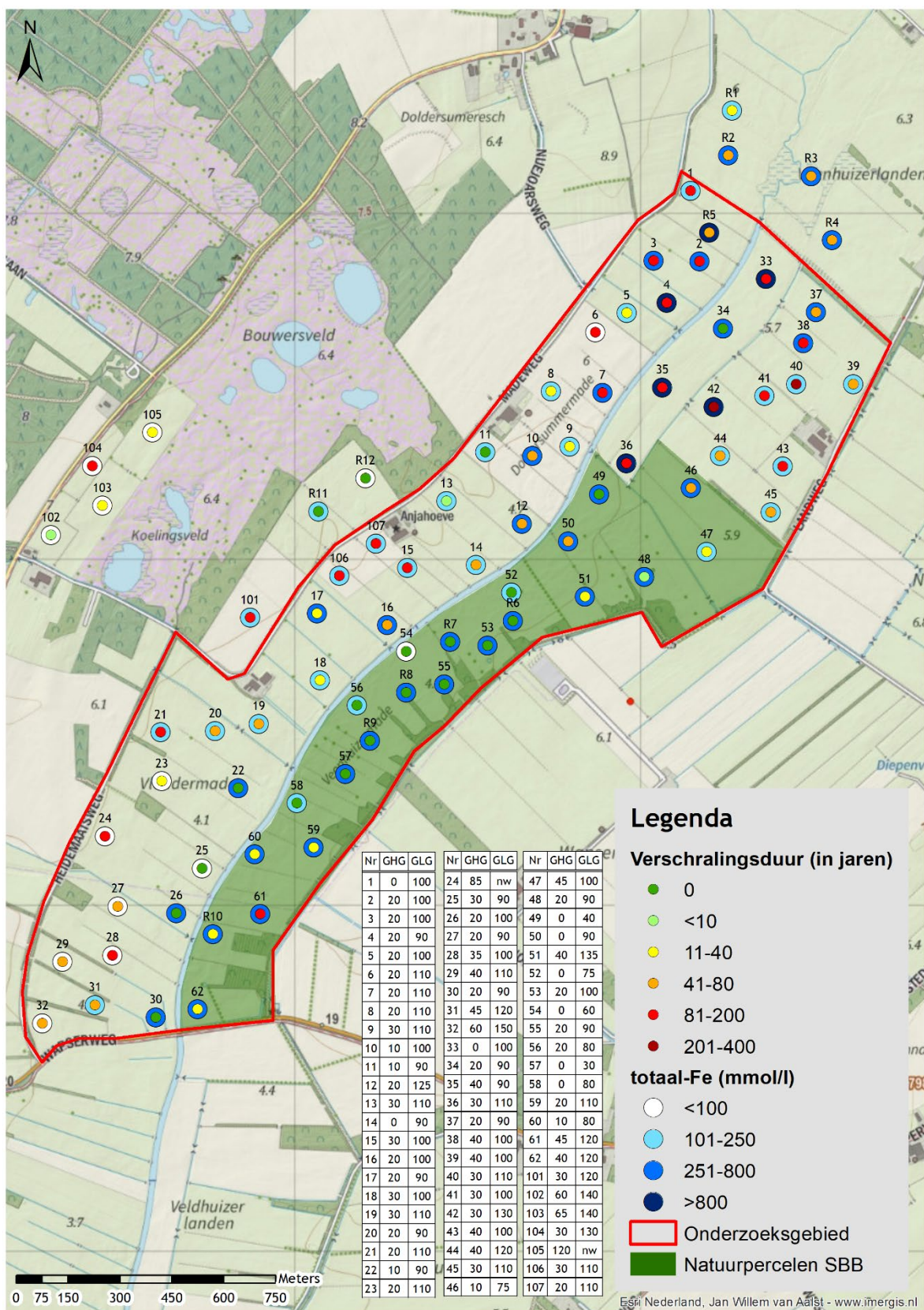
Nr	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	P-O	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	FVG	M5	M12
51	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	9	32	0,9	1437	21,3	0,07	254	36	352	18	6	17	13	88	15183	0,01	147	2576	4,7	98	1,0	38	67	87	22	
	20-30	Zand	BC	1	15	1,4	413	4,0	0,10	180	16	111	32	6	13	3											0	0	
	30-40	Zand	C	0	14	1,4	253	1,3	0,19	177	13	58	54	9	18	1											0	0	
52	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	6	36	0,9	803	11,4	0,07	132	36	183	19	4	11	12	29	18174	0,00	201	1097	5,0	98	1,3	38	226	27	0	
	20-35	Veen	A	32	60	0,4	214	7,4	0,03	178	120	133	34	3	8	31	15	27117	0,00	108	1483	5,2	99	1,0	108	216	0	0	
	35-45	Zand, sterk siltig en humeus	C	4	32	1,1	137	1,9	0,07	80	22	36	31	4	7	6											0	0	
53	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	13	36	0,9	861	16,7	0,05	275	63	439	30	6	13	17	42	23458	0,00	174	1024	4,7	97	0,7	156	903	44	0	
	20-30	Zand, matig siltig	BC	1	14	1,4	98	1,1	0,09	201	24	51	70	8	12	2											0	0	
	30-40	Zand	C	1	17	1,5	81	0,8	0,10	142	17	53	83	9	13	1											0	0	
54	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	24	1,3	945	6,2	0,15	170	16	99	19	7	13	7	323	8533	0,04	195	536	4,4	91	0,9	88	90	18	0	
	20-30	Veen	A	42	61	0,4	302	9,6	0,03	192	124	337	48	2	6	35	86	21989	0,00	110	876	4,7	99	0,7	254	94	0	0	
55	0-20	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	8	29	0,9	1136	14,3	0,08	279	34	300	23	6	14	15	423	13823	0,03	131	882	4,2	93	0,6	321	77	50	0	
	20-30	Zand, omg	BC	3	22	1,2	832	7,2	0,12	200	21	163	25	6	10	8											9	0	
56	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	29	1,0	1135	11,4	0,10	184	30	132	14	8	24	11	44	14278	0,00	155	3346	4,7	98	1,2	248	231	40	0	
	25-35	Veen	A	9	33	0,9	734	25,5	0,03	191	62	663	28	4	12	11	6	24033	0,00	68	1687	5,2	100	1,0	645	31	25	0	
57	0-20	Veen, bv	AP	10	41	0,8	865	16,9	0,05	175	70	377	27	3	7	21	77	14996	0,01	100	150	4,7	98	0,8	84	58	12	45	
	20-30	Veen	O	64	74	0,3	138	6,0	0,02	52	117	126	40	0	1	32	11	29244	0,00	86	321	5,0	98	0,8	9	448	3	0	
	30-40	Veen	O	82	81	0,2	65	4,9	0,01	65	131	53	38	0	2	26											0	0	
	40-50	Veen	O	42	79	0,2	67	3,3	0,02	54	98	34	40	1	2	30											0	0	
58	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	25	1,2	1335	11,0	0,12	171	22	123	13	6	15	11	454	5751	0,08	193	1016	4,2	84	2,1	311	85	43	7	
	35-45	Zand	C	1	20	1,3	174	2,5	0,07	117	17	40	23	5	11	3											0	0	
59	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	23	1,0	1407	14,4	0,10	221	15	340	25	5	10	11	620	7658	0,08	208	1263	4,0	84	2,1	242	127	58	13	
	20-30	Zand, matig siltig	BC	2	17	1,3	714	4,5	0,16	177	10	91	22	5	10	4											4	0	
	30-40	Zand	C	0	14	1,4	161	1,1	0,15	143	8	34	39	6	9	1											0	0	
60	0-20	Veen, bv	AP	23	49	0,6	1331	53,1	0,03	144	98	651	14	3	16	23	25	25698	0,00	118	4276	5,1	100	2,9	466	73	207	33	
	20-30	Veen	O	52	66	0,4	656	42,4	0,02	95	106	763	21	1	10	25	27	29629	0,00	62	3366	5,0	100	1,3	365	123	32	0	
61	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	23	1,1	2366	35,4	0,07	171	32	558	17	4	10	13	206	14462	0,01	171	1885	4,4	96	1,6	178	158	175	109	
	25-35	Zand	BC	2	14	1,3	946	13,1	0,07	143	15	365	29	4	5	3											19	0	
62	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	17	1,4	1846	12,8	0,14	160	13	308	25	7	15	6	498	4627	0,11	353	866	4,0	70	1,8	96	522	20	58	28
	20-30	Zand, matig siltig, opg	AC	2	15	1,5	690	5,7	0,12	154	17	147	29	7	15	4	377	7096	0,05	299	670	4,4	87	0,5	79	47	10	5	0
	30-40	Zand, matig siltig, opg	AC	1	14	1,5	405	4,1	0,10	134	14	116	32	7	15	3											0	0	
	40-50	Zand, matig siltig, opg	AC	1	15	1,4	451	3,7	0,12	124	12	77	24	7	14	2											0	0	
101	0-15	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	19	1,4	4911	21,3	0,23	245	9	145	7	9	12	10	992	4738	0,21	1647	671	3,8	66	4,9	143	40	86	75	
	15-25	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	4	19	1,4	4748	20,9	0,23	256	9	156	8	10	13	9											56	49	
	25-40	Zand, sterk siltig	C	1	15	1,4	519	5,4	0,10	226	8	522	98	7	13	3	1250	3827	0,33	1836	1058	3,9	61	0,1	58	34	1	0	
	40-55	Zand, sterk siltig	C	2	19	1,3	680	7,5	0,09	254	14	472	65	12	18	3											9	0	
	55-65	Leem, sterk zandig	C	2	18	1,4	154	1,8	0,09	457	37	218	145	32	40	2											0	0	
102	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	20	1,2	1364	6,2	0,22	261	9	37	7	7	14	6	178	7474	0,02	258	3907	4,6	95	1,7	328	110	20	5	
	20-40	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	23	1,1	1395	7,1	0,20	210	10	28	5	5	7	7											13	3	
	40-50	Zand, sterk siltig, matig humeus,	B	4	25	1,3	867	3,7	0,24	299	11	27	10	8	11	5	439	5597	0,08	284	1672	4,5	88	0,6	123	53	2	0	
	50-60	Zand, sterk siltig, matig humeus,	B	4	23	1,3	684	3,3	0,21	401	10	35	14	10	17	5											1	0	
103	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	23	1,0	1820	9,0	0,20	190	9	26	4	5	8	7	349	5508	0,06	278	2327	4,3	87	2,2	340	412	17	37	19
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	22	1,1	948	5,0	0,19	157	14	21	7	3	7	5											5	6	0
	30-45	Zand, sterk siltig	BC	2	16	1,3	457	2,7	0,17	319	8	47	21	10	20	3	478	2827	0,17	379	499	4,5	76	1,2	24	23	3	0	0
	45-55	Zand	C	1	12	1,4	187	1,9	0,10	279	6	60	35	11	18	1											0	0	
104	0-20	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	23	1,2	4939	19,7	0,25	235	8	41	3	5	8	7	1386	3498	0,40	282	524	4,0	58	7,3	154	97	104	93	
	20-30	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	24	1,2	4665	18,4	0,25	237	9	43	3	5	8	6											48	43	
	30-40	Zand, matig siltig	B	3	18	1,3	582	3,2	0,18	378	7	256	82	10	18	3	416	1314	0,32	484	241	4,5	65	0,3	18	2	1	0	
	40-50	Zand, matig siltig	B	2	15	1,3	584	3,2	0,18	320	6	208	67	9	16	3											1	0	
	50-60	Zand	C	1	13	1,5	138	1,7	0,08	265	5	84	51	10	17	1											0	0	
105	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	20	1,0	2537	9,1	0,28	149	11	22	4	4	8	8	912	4796	0,19	281	1998	4,0	76	4,3	241	110	38	30	
	20-30	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	18	1,0	2481	9,4	0,27	153	11	22	3	4	8	8											20	15	
	30-45	Zand, sterk siltig	B	2	11	1,1	547	2,5	0,22	273	5	52	22	8	14	2	912	958	0,95	357	284	4,3	40	0,8	30	7	0	0	
	45-55	Zand	C	1	8	1,3	170	2,2	0,08	291	5	110	52	11	18	2											0	0	
106	0-20	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	10	27	0,9	3289	28,6	0,12	144	37	117	5	6	15	14	10	14753	0,00	668	4321	5,2	99	36,2	302	99	64	151	113
	20-35	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	5	17	1,1	2022	13,6	0,15	194	26	137	12	7	13	7											30	48	26
	35-45	Zand, matig siltig	BC	3	12	1,4	985	5,0	0,20	234	18	74	18	14	18	3	89	6320	0,01	1547	1842	5,3	97	5,6	35	4	16	6	0
	45-55	Zand	C	1	13	1,5	182	1,9	0,10	301	16	86	54	23	27	1													



Figuur 32. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de Olsen-P en ijzerconcentratie van de toplaag in het onderzoeksgebied. In de tabel staan de hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstanden per locatie weergegeven.



Figuur 33. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de verschalingsduur van de toplaag (in jaren) van 0-20 cm tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ met een totaal-P ondergrens van 3 mmol/l. * Op de referentielocaties is de verschalingsduur berekend van de toplaag van 0-15 cm. In de tabel staan de hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstanden per locatie weergegeven.



Figuur 34. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de verschalingsduur van de toplaag (in jaren) van 0-20 cm tot een Olsen-P streefconcentratie van 1200 $\mu\text{mol/l}$ met een totaal-P ondergrens van 3 mmol/l. * Op de referentielocaties is de verschalingsduur berekend van de toplaag van 0-15 cm. In de tabel staan de hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstanden per locatie weergegeven.

.....

Het is aan de opdrachtgever om uiteindelijk te kiezen welke maatregelen passen binnen het op te stellen inrichtingsplan en welke keuzes per locatie worden gemaakt. Het doel van dit onderzoek is om de potenties en vereiste maatregelen in kaart te brengen zodat vervolgens weloverwogen keuzes kunnen worden gemaakt: gaat men voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen als heischraal grasland, blauwgrasland of vochtig hooiland of vindt men de vereiste maatregelen te ingrijpend en zet men in op de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland op de huidige toplaag? In paragraaf 5.7 wordt nader ingegaan op de mogelijkheden voor bosontwikkeling.

Wanneer keuzes moeten worden gemaakt heeft het de voorkeur om een kleiner oppervlak goed in te richten dan op een groter oppervlak voor 'half werk' te kiezen. Dit laatste levert over het algemeen vooral teleurstellingen op (verruiging, noodzaak voor aanvullende beheer, etc.) en is uiteindelijk zonde van de inspanningen, gemaakte kosten en het draagvlak in de omgeving.

Indien gewenst, kunnen we samen met de opdrachtgever meekijken naar de keuzes die gemaakt kunnen worden in het onderzoeksgebied zodat de consequenties van bepaalde beslissingen voor de abiotische condities worden gewaarborgd.

In Figuur 32 wordt de ruimtelijke variatie in de Olsen-P concentratie van de toplaag weergegeven waarbij tevens de ruimtelijke variatie in ijzerconcentraties wordt gegeven. In Figuur 33 en Figuur 34 wordt de ruimtelijke variatie in de verschrallingsduur van de toplaag tot een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ (bovengrens nat schraalland, optimaal voor vochtig hooiland) en 1200 $\mu\text{mol/l}$ (streefconcentratie vochtig kruiden- en faunairijk grasland) en de ijzerconcentratie weergegeven. Voor de ontwikkeling van een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is de gemiddelde verschrallingsduur 118 jaar. Slechts zeer lokaal is de verschrallingsduur relatief beperkt (< 40 jaar: gele stippen in Figuur 33).

Door middel van een uitmijnbeheer kan de verschrallingsduur worden verkort (met een factor 4). Hiervoor is echter voortzetting van het landbouwkundig gebruik vereist zonder P-bemesting. Er is echter wel een productieve zode nodig in combinatie met N- en/of K-bemesting. Een alternatief is het inzaaien van een gras-klavermengsel waarna alleen nog K-bemesting nodig is. Het is hierbij nodig dat het gewas 4-5 keer per jaar wordt gemaaid en afgevoerd. Onder vochtige tot natte omstandigheden is dit vaak niet haalbaar waardoor de effectiviteit afneemt. Het nemen van vernattingsmaatregelen kan vaak beter worden uitgesteld bij een uitmijnbeheer. Wanneer de voedselrijke toplaag wordt vernat is het risico op pitrusontwikkeling bovendien groter. Een praktisch uitmijnadvies kan worden opgesteld in samenwerking met het Louis Bolk Instituut en aanvullende analyses (meer landbouwkundig gericht) van Eurofins. In het onderzoeksgebied lijkt dit alleen een optie op de hogere, drogere flanken. Een uitmijnbeheer van 4-5 jaar zou hier ook kunnen worden ingezet om de concentratie direct beschikbare voedingsstoffen en een deel van de P-voorraad af te voeren ten behoeve van de ontwikkeling van een kruiden- en faunairijk grasland.

Met behulp van deze informatie zijn op basis van expert judgement de vereiste inrichtingsmaatregelen en natuurpotenties per locatie weergegeven.

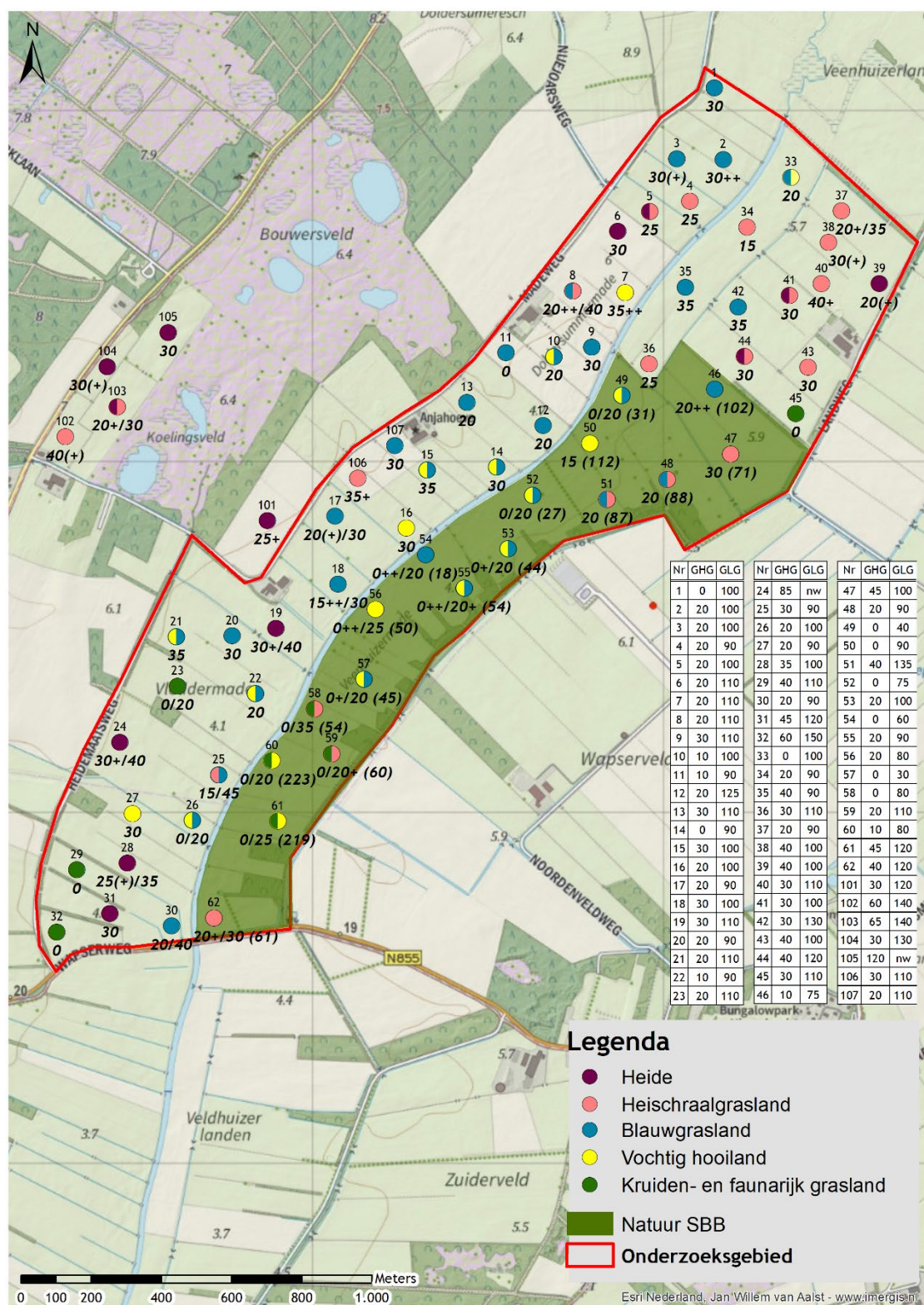
In Tabel 11 wordt per locatie een overzicht gegeven van de vereiste plag-/ontgrondingsdieptes voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuur. Lokaal is aanvullend verschrallingsbeheer vereist (weergegeven met (+), + of ++). Wanneer de toplaag al voldoende arm is, maar geen tot weinig doelsoorten bevat, wordt geadviseerd om de dichte zode te verwijderen. In Tabel 11 wordt tevens het potentiële natuurbeheertype weergegeven. In Figuur 35 wordt dit plag-/ontgrondingsadvies per locatie ruimtelijk weergegeven inclusief de natuurpotenties. In het synthesehoofdstuk (Hoofdstuk 6) worden op basis van de adviezen per locatie een aantal grove plagzones onderscheiden.

Tabel 11. Overzicht van de ontgrondingsdieptes (in cm) die nodig zijn om P-arme condities te realiseren waarbij (+) = <3 jaar, = 4-10 jaar en ++ = 11-25 jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist (beiden geen optimale situatie voor de beoogde natuurdoelen). Op plekken met een Ca-t concentratie <10 mmol/l en/of een Ca-z concentratie <4000 µmol/l wordt na ontgroning een eenmalige bekalking met 2000 kg Dolokal per hectare aanbevolen. De natuurpotenties zijn gebaseerd op de Ca-z concentraties (µmol/l) op <4.000 = heide (HEI), 4.000-10.000 = heischraal grasland (HGL), > 10.000 blauwgrasland (BLG)/vochtig hooiland (VH). In de tabel staan de hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstanden (na eventuele maaiveldverlaging) en een aantal bodemchemische parameters per locatie weergegeven. Voor de toegepaste kleurarceringen zie het bijschrift van Tabel 10.

Nr	GHG	GLG	Plagdiepte	Beheer	Bekalking	Advies	Grondsoort	HZT	OS	P-O	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	Ca-z	K-z	pH-z	P-z	NO3-z
1	+30	70	30			BLG	Leem, sterk zandig	C	2	201	2,7	610	61	467	23392	248	4,1	1,5	182
2	+10	70	30	++		BLG	Zand, matig siltig, omg	AB	3	1359	8,5	172	17	128	9804	191	4,4	1,0	47
3	+10	70	30	(+)		BLG	Zand, matig siltig	BC	1	627	5,4	318	21	114	10543	202	4,4	0,3	39
4	+5	65	25			HGL	Zand	C	0	148	1,9	147	10	62	5032	261	4,2	0,0	10
5	+5	75	25		X	HEI/HGL	Zand	C	1	155	1,6	138	7	55	4221	294	4,6	0,3	74
6	+10	80	30		X	HEI	Zand, omg	BC	1	972	3,1	138	4	51	1539	1611	4,3	2,0	38
7	+15	75	35	++		VH	Veen, begraven bodem	A	15	1205	22,6	244	31	406	7020	2410	4,6	0,5	116
8	0	90	20	++		VH/BLG	Veen, begraven bodem	A	13	790	12,2	402	52	352	20238	639	4,6	0,6	254
	+20	70	40		X	HGL	Zand	C	1	265	1,3	185	9	52	5189	396	4,8	0,8	56
9	0	80	30			BLG	Zand, omg	AB	4	364	2,7	81	21	65	10545	565	5,0	1,5	170
10	+10	90	20			VH/BLG	Veen, oude bodem	A	13	441	10,2	466	82	221	28340	488	4,9	1,3	400
11	10	90	0			BLG	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	9	483	7,7	333	51	202	16822	658	4,8	1,1	290
12	0	105	20			BLG	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	20	174	3,2	124	30	57					
13	10	90	20			BLG	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	5	268	5,2	175	39	135					
14	+30	60	30			VH/BLG	Veen	A	16	198	9,5	232	154	140	12972	33	5,2	0,15	287
15	+5	65	35			VH	Veen	A	13	383	9,4	454	76	203					
16	+10	70	30			VH/BLG	Veen	A	40	350	14,9	186	85	239					
17	0	70	20	(+)		BLG	Zand, omg	BC	2	654	4,6	184	15	83					
	+10	60	30			BLG	Zand	C	1	442	3,6	193	14	89	17098	481	4,7	1,1	223
18	15	85	15	++		BLG	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	696	9,5	182	37	145					
	0	70	30			BLG	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	5	377	8,6	226	73	174					
19	0	80	30	+	X	HEI	Zand, matig siltig	BC	2	1321	4,8	152	8	56	3891	377	4,1	0,9	66
	+10	70	40		X	HEI	Zand	C	0	140	1,5	139	6	30					
20	+10	60	30			BLG	Zand	C	1	207	3,6	157	26	54	10345	220	4,9	0,0	58
21	+15	75	35			VH/BLG	Leem, uiterst zandig	C	1	501	6,9	429	28	293	23226	426	4,5	0,0	60
22	+10	70	20			VH/BLG	Veen	A	28	210	9,0	304	138	184	28775	116	5,4	1,0	996
23	20	110	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	2405	11,6	196	15	75	6631	287	4,4	1,1	203
	0	90	20			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	2	1007	6,8	235	18	87					
24	55	>120	30	+	X	HEI	Zand, matig siltig	B	2	2260	6,0	257	5	28	3280	2108	4,3	2,3	93
	45	>110	40		X	HEI	Zand	BC	1	548	2,0	232	3	29					
25	15	75	15			HGL	Zand, matig siltig, opg	AC	2	367	4,6	181	23	69					
	+15	45	45			BLG	Veen	A	6	320	8,8	462	64	153	26752	938	4,8	0,6	0
26	20	100	0			VH	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	17	654	17,1	243	73	298	16772	449	5,0	0,4	699
	0	80	20			BLG	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	26	159	4,5	54	97	95					
27	+10	60	30			VH	Veen	A	16	573	16,4	135	83	144	22962	159	5,4	3,0	476
28	10	75	25	(+)	X	HEI	Zand	BC	1	975	3,3	150	5	30	2037	1731	4,1	8,5	89
	+5	55	35		X	HEI	Zand	C	0	287	1,5	173	6	32					
29	40	110	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus	A	7	2069	13,8	196	21	84	8218	553	4,6	1,1	294
30	0	70	20			BLG	Zand, matig siltig, sterk humeus, opg		5	318	2,5	72	45	57	14964	329	5,2	4,8	227
	+20	50	40			BLG	Veen	O	36	76	1,8	29	73	54	24660	199	5,1	1,2	37
31	15	90	30		X	HEI	Zand, matig siltig	BC	2	291	1,4	136	5	27	2706	900	4,7	0,4	107
32	60	150	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	8	3252	16,4	172	13	78	6058	917	4,4	3,3	207
33	+20	80	20			BLG/VH	Veen	O	42	371	30,6	43	130	432	23463	149	5,1	1,6	1004
34	5	75	15			HGL	Zand	C	0	95	1,6	137	10	42	4531	330	6,0	1,0	37
35	5	35	35			BLG	Zand, sterk siltig	BC	2	238	6,9	420	56	155	22182	859	5,8	0,5	39
36	5	85	25			HGL	Zand	C	0	334	2,6	125	14	53	6890	369	5,6	0,3	24
37	0	70	20	+		HGL	Zand, matig siltig	BC	2	658	3,9	133	12	61	9834	345	4,9	1,7	47
	+15	55	35			HGL	Zand, matig siltig	BC	1	321	1,7	118	10	45					
38	10	70	30	(+)		HGL	Zand, matig siltig	BC	1	579	3,5	185	12	68					
39	20	80	20	(+)	X	HEI	Zand, sterk siltig, omg	BC	1	1005	3,4	157	9	53	2907	570	4,4	0,9	61
40	+10	70	40	+		HGL	Zand	C	1	1023	4,6	263	13	82					

Vervolg Tabel 11.

Nr	GHG	GLG	Plag- diepte	Beheer	Bekalking	Advies	Grondsoort	HZT	OS	P-O	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	Ca-z	K-z	pH-z	P-z	NO3-z
41	0	70	30		X	HEI/HGL	Zand	C	1	394	2,4	143	9	46					
42	+5	95	35			BLG	Zand, sterk siltig, matig humeus	A	13	449	8,3	249	60	152	15201	2263	5,2	0,6	83
43	10	70	30			HGL	Zand	BC	2	722	2,9	175	14	56	8741	235	4,8	2,3	51
44	10	90	30			HEI/HGL	Zand	BC	2	298	2,5	171	10	63	4492	508	5,3	0,4	24
45	30	110	0			KFG	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	6	2174	17,5	137	23	120	9131	219	4,8	4,5	210
46	+10	55	20	++		BLG	Zand, matig siltig	C	2	609	7,6	128	29	152					
47	15	70	30			HGL	Zand	BC	1	274	1,7	153	11	53	6002	311	4,9	0,5	40
48	0	70	20			BLG/HGL	Zand, matig siltig	BC	2	331	4,3	195	19	149					
49	0	40	0			VH	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	7	731	15,7	149	43	534	14169	193	4,7	0,7	67
	+20	20	20			BLG	Veen	O	67	111	6,0	32	133	220	29540	29	5,1	0,8	249
50	+15	75	15			VH	Veen	O	15	489	12,5	367	94	252	33066	85	5,5	1,1	148
51	20	115	20			BLG/HGL	Zand	BC	1	413	4,0	180	16	111					
52	0	75	0			VH	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	6	803	11,4	132	36	183	18174	201	5,0	1,5	38
	+20	55	20			BLG	Veen	A	32	214	7,4	178	120	133	27117	108	5,2	1,0	108
53	20	100	0	+		VH	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	13	861	16,7	275	63	439	23458	174	4,7	0,7	156
	0	80	20			BLG	Zand, matig siltig	BC	1	98	1,1	201	24	51					
54	0	60	0	++		BLG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	945	6,2	170	16	99	8533	195	4,4	0,9	88
	+20	40	20				Veen	A	42	302	9,6	192	124	337	21989	110	4,7	0,7	254
55	20	90	0	++		VH	Zand, sterk siltig en humeus, bv	AP	8	1136	14,3	279	34	300	13823	131	4,2	0,6	321
	0	70	20	+		BLG	Zand, omg	BC	3	832	7,2	200	21	163					
56	20	80	0	++		VH	Zand, sterk siltig, matig humeus, bv	AP	7	1135	11,4	184	30	132	14278	155	4,7	1,2	248
	+5	55	25				Veen	A	9	734	25,5	191	62	663	24033	68	5,2	1,0	645
57	0	30	0	+		VH	Veen, bv	AP	10	865	16,9	175	70	377	14996	100	4,7	0,8	84
	+20	10	20			BLG	Veen	O	64	138	6,0	52	117	126	29244	86	5,0	0,8	9
58	0	80	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	3	1335	11,0	171	22	123	5751	193	4,2	2,1	311
	+35	45	35			HGL	Zand	C	1	174	2,5	117	17	40					
59	20	110	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	7	1407	14,4	221	15	340	7658	208	4,0	2,1	242
	0	90	20	+		HGL	Zand, matig siltig	BC	2	714	4,5	177	10	91					
60	10	80	0			KFG	Veen, bv	AP	23	1331	53,1	144	98	651	25698	118	5,1	2,9	466
	+10	60	20			VH	Veen	O	52	656	42,4	95	106	763	29629	62	5,0	1,3	365
61	45	120	0			KFG	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	9	2366	35,4	171	32	558	14462	171	4,4	1,6	178
	25	95	25			VH	Zand	BC	2	946	13,1	143	15	365					
62	20	100	20	+		HGL	Zand, matig siltig, opg	AC	2	690	5,7	154	17	147	7096	299	4,4	0,5	79
	10	90	30			HGL	Zand, matig siltig, opg	AC	1	405	4,1	134	14	116					
101	5	95	25	+	X	HEI	Zand, sterk siltig	C	1	519	5,4	226	8	522	3827	1836	3,9	0,3	58
102	20	100	40	(+)		HGL	Zand, sterk siltig, matig humeus,	B	4	867	3,7	299	11	27	5597	284	4,5	0,6	123
103	45	120	20	+		HEI	Zand, matig siltig en humeus, bv	AP	6	948	5,0	157	14	21					
	35	110	30		X	HGL	Zand, sterk siltig	BC	2	457	2,7	319	8	47	2827	379	4,5	1,2	24
104	0	100	30	(+)	X	HEI	Zand, matig siltig	B	3	582	3,2	378	7	256	1314	484	4,5	0,3	18
105	90	nw	30		X	HEI	Zand, sterk siltig	B	2	547	2,5	273	5	52	958	357	4,3	0,8	30
106	+5	75	35	+		HGL	Zand, matig siltig	BC	3	985	5,0	234	18	74	6320	1547	5,3	5,6	35
107	+10	75	30			BLG	Veen	A	19	265	10,0	583	106	318	30517	2939	5,4	1,1	544



Figuur 35. Overzicht van de ontgrondingsdieptes (in cm) die nodig zijn om P-arme condities te realiseren waarbij (+) =<3 jaar, + = 4-10 jaar en ++ = 11-25 jaar is aanvullend verschrallingsbeheer vereist. De kleuren geven een beeld van de potentiële natuurdoeltypen (gebaseerd op de mate van buffering van de bodem). Het natuurdoeltype is afhankelijk van de hydrologische situatie (in de figuur zijn de huidige GHG en GLG gegeven, zonder evt. maaiveldverlaging). Op plekken waar de vereiste maatregelen te fors zijn wordt geadviseerd om op de toplaag een kruiden- en faunairijk grasland te ontwikkelen. Voor de natuurpercelen van Staatsbosbeheer (groene zone) zijn zowel de potenties zonder afgraven als met beperkte afgraving aangegeven. Tussen haakjes wordt de verschrallingsduur van de toplaag tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l gegeven.

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 zal dit leiden tot een andere ontwikkeling:

- Vochtig heischraal grasland → droog heischraal grasland;
- Blauwgrasland → droog heischraal grasland/kruiden- en faunarijk grasland;
- Vochtig hooiland → glanshaverhooiland (kleiig zand)/ kruiden- en faunarijk 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 zeggengemeenschap;
- Blauwgrasland → kleine zeggengemeenschap/ trilveen/ rietmoeras;
- Vochtig hooiland → trilveen/ rietmoeras.

5.6 Risico's gebruik fosfaatrijke toplaag bij verondieping watergangen

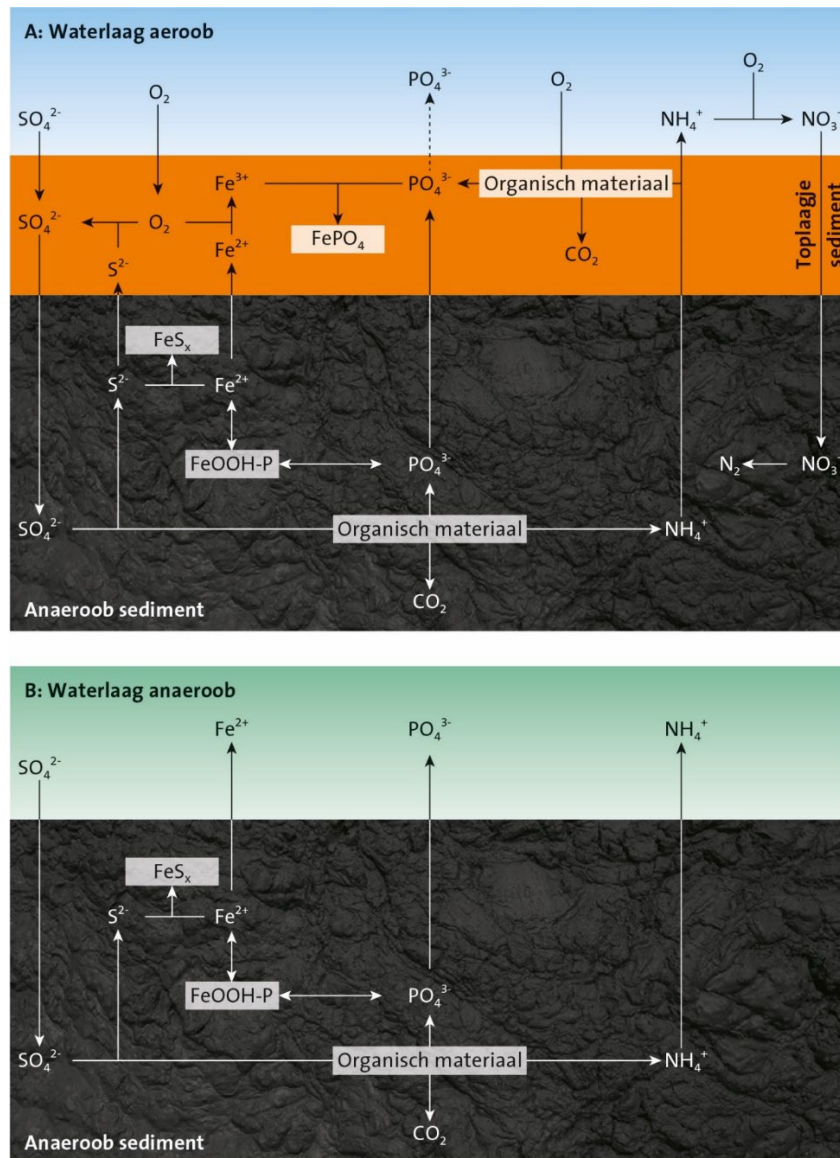
De opdrachtgever wil weten of de grond die vrijkomt bij de natuurontwikkeling (afgraven fosfaatrijke toplaag) geschikt is om sloten of de beek mee te dempen of verondiepen. Op deze manier zou men namelijk de aanvoer van externe grond kunnen beperken. Bij de toepassing van fosfaatrijke grond bestaat het risico dat onder natte omstandigheden fosfaat wordt gemobiliseerd.

Biogeochemische processen in waterbodems

Wanneer landbouwbodems 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. De bouwvoor van voormalige landbouwbodems is veelal rijk aan dit reactief organisch materiaal. Bij de afbraak komen anorganisch koolstof (kooldioxide en bicarbonaat) en nutriënten vrij in de vorm van fosfaat en ammonium, en wordt ook stikstofgas, gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) 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 36. 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 36 en Figuur 39). De ijzerval kan functioneren zolang er voldoende zuurstof in de waterlaag boven de waterbodem aanwezig 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

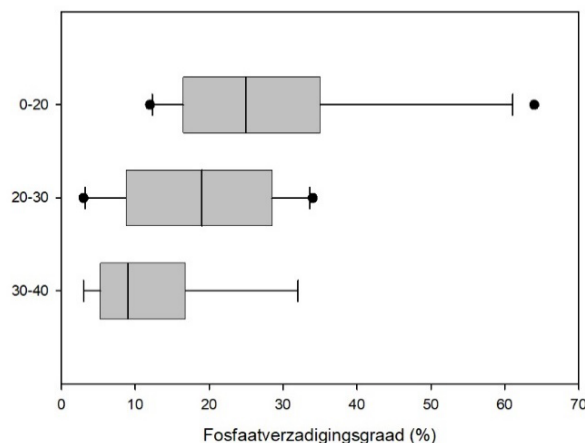
.....

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 fosfaatnalevering vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater (Figuur 36).

Fosfaatverzadigingsgraad

Met de bodems uit het onderzoeksgebied zijn geen naleveringsexperimenten uitgevoerd. Bij naleveringsexperimenten worden bodems 6-10 weken onder water gezet en wordt onder andere gemeten hoeveel fosfor wordt gemobiliseerd en hoeveel ijzer in oplossing gaat. Hiermee kan de fosfaatnalevering worden berekend.

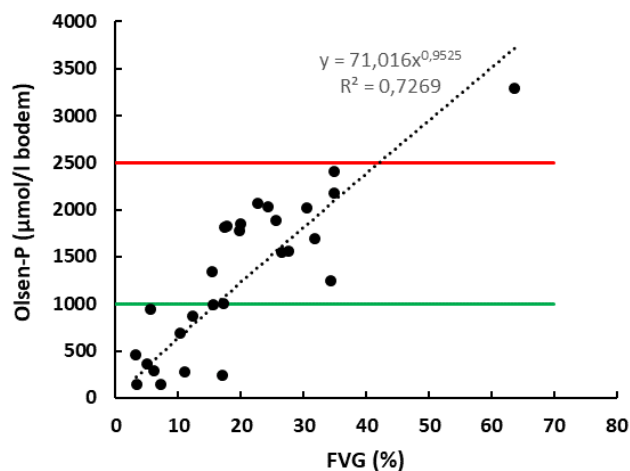
Om een beeld te krijgen van het risico op fosfaatmobilisatie in de bodems uit het onderzoeksgebied is van 28 bodems (afkomstig van locatie 4, 9, 23, 31, 35, 47, 57, 57, 62, 103 en 106; voor ligging van de locaties zie Figuur 10) de fosfaatverzadigingsgraad gemeten door middel van een oxalaatextractie (zie Tabel 10 voor de analysedata). Als het deel van het bodemprofiel boven de GHG een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) hoger dan 25% heeft, wordt de bodem als fosfaatverzadigd beoordeeld en bestaat de kans op uitspoelen van fosfaat (Schoumans, 2004; Schoumans e.a., 2008).



Figuur 37. Boxplot van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem op 3 verschillende diepten. In de boxplots is onderscheid gemaakt tussen de verschillende bodemlagen. De globale dieptes zijn: 0-20 cm-mv (n=10), 20-30 cm-mv (n=10) en 30-40 cm-mv (n=8). 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. Zie Tabel 10 voor de analysedata van de FVG.

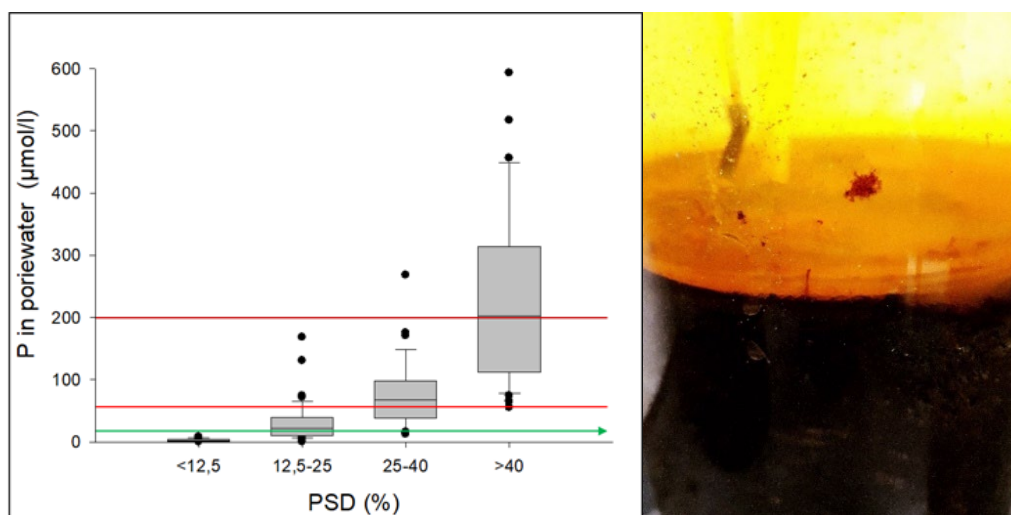
In het onderzoeksgebied zien we dat de fosfaatverzadigingsgraad het hoogste is in de toplaag (overwegend 15-35%, maar er is ook een uitschieter van 64%) en afneemt in de diepte. De spreiding is echter relatief fors. De lokale variatie is dus groot. Desondanks is de fosfaatverzadigingsgraad in de toplaag op de 10 geselecteerde locaties lager dan 40% en daarmee niet extreem hoog.

De fosfaatverzadigingsgraad correleert binnen het gebied het beste met de Olsen-P concentratie van de bodem. Uit Figuur 38 blijkt dat in bodems met een Olsen-P concentratie lager dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ de fosfaatverzadigingsgraad minder dan 20% is. Bij bodems met een Olsen-P concentratie tussen 1000 en 2500 $\mu\text{mol/l}$ is de fosfaatverzadigingsgraad circa 20-35%. In de voedselrijke bodem met een Olsen-P concentratie van 3289 $\mu\text{mol/l}$ is de fosfaatverzadigingsgraad 62%.

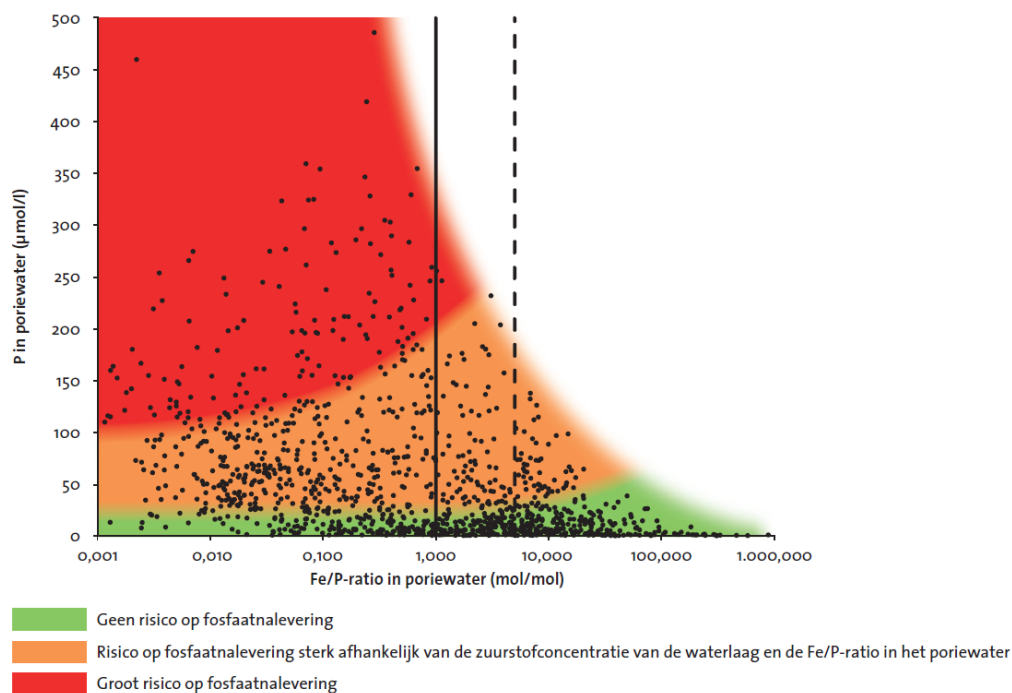


Figuur 38. Correlatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de Olsen-P concentratie. Zie Tabel 10 voor de analysedata van Olsen-P en de FVG.

Uit de bodemanalyses blijkt dat er sprake is van relatief beperkt tot sterk met P-verrijkte bodems met een fosfaatverzadigingsgraad die sterk ruimtelijk varieert en afneemt in de diepte. Uit eerdere naleveringsexperimenten die werden uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE blijkt dat vooral in bodems met een FVG hoger dan 40% (zeer) hoge P concentraties in het poriewater werden gemeten van gemiddeld 200 µmol/l (Figuur 39; PSD = FVG). Uit Figuur 40 blijkt dat bij dergelijke hoge P concentraties in het poriewater (>100 µmol/l) het risico op P-nalevering naar de waterlaag groot is. Bij een fosfaatverzadigingsgraad lager dan 12,5-25% is dit risico overwegend laag op basis van de P-concentraties in het poriewater.

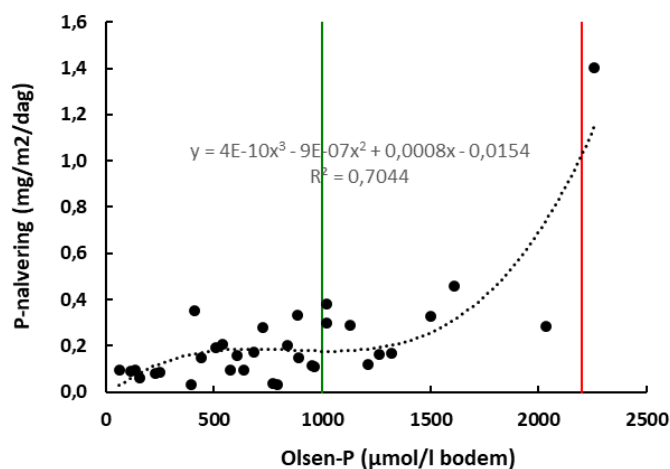


Figuur 39. Links: fosfaatverzadigingsgraad (bezetting van de amorf ijzer- en aluminiumhydroxides met fosfaat) van de bodem als indicator voor de fosforconcentratie in het poriewater na vernatting van bodems (data Onderzoekcentrum B-WARE, Smolders e.a. 2019). PSD = phosphate saturation degree (= fosfaatverzadigingsgraad). De groene lijn geeft een lage concentratie weer (10 à 20 µmol/l), rode lijnen geven hoge concentraties weer (matig hoog 50 µmol/l tot zeer hoog >200 µmol/l). Rechts: geoxideerd ijzer in de toplaag van de waterbodem (de 'ijzerval'; foto: Mark van Mullekom). Wanneer de waterlaag zuurstofarm wordt (<2 mg/l) werkt de 'ijzerval' niet en kan fosfor uit de waterbodem naar de waterlaag diffunderen.



Figuur 40. 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 µmol/l (groen) en groot vanaf circa 100 µmol/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). Bron: Smolders e.a. (2019).

Daarnaast kunnen we de data uit het onderzoeksgebied vergelijken met de data van zand- en veenbodems uit het beekdal Koningsdiep (Friesland) waarmee een naleveringsexperiment werd uitgevoerd (Visscher e.a., 2021). Deze bodems werden gedurende 11 weken onder water gezet waarna poriewater in de (water)bodem en een oppervlaktewatermonster werd verzameld voor analyse. De relatie tussen de Olsen-P concentratie en de mate van P-nalevering wordt weergegeven in Figuur 41.



Figuur 41. Correlaties tussen de P-nalevering en de Olsen-P concentratie van de bodem (Visscher e.a., 2021).

.....

Uit deze data uit het Koningsdiep is af te leiden dat er op locaties met een Olsen-P concentratie hoger dan 2200 $\mu\text{mol/l}$ een groot risico bestaat op P-mobilisatie en -nalevering bij inundatie van de bodem. Vanaf 1000 $\mu\text{mol/l}$ neemt dit risico toe. Bij Olsen-P concentraties lager dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ is het risico klein. Deze grenswaarden komen goed overeen met de grenswaarden op basis van de correlatie tussen de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem en de Olsen-P concentratie (Figuur 38).

Op basis van Figuur 38, Figuur 39 en Figuur 41 worden de risico's op fosfaatsnalevering, en daarmee de mogelijkheid om de bodems te gebruiken bij verondieping van de beek of sloten, als volgt gecategoriseerd op basis van de Olsen-P concentratie:

- Olsen-P <1000 $\mu\text{mol/l}$: risico op nalevering klein - geschikt voor verondieping watergangen;
- Olsen-P 1000-2500 $\mu\text{mol/l}$: risico op nalevering - niet geschikt voor verondieping watergangen;
- Olsen-P >2500 $\mu\text{mol/l}$: risico op nalevering groot - niet geschikt voor verondieping watergangen.

In het synthesehoofdstuk (Hoofdstuk 6) worden op basis van de natuurpotenties per locatie in het onderzoeksgebied een aantal plagzones onderscheiden. In dit hoofdstuk wordt ook aangegeven in hoeverre de vrijgekomen grond toegepast kan worden voor het verondiepen of dempen van watergangen.

5.7 Bosontwikkeling

Ofschoon er al langere tijd bomen worden geplant op voormalige landbouwgronden, is de interesse voor de ontwikkeling van een volledig bos-ecosysteem op deze gronden pas vrij recent gegroeid. De opdrachtgever wil ook de mogelijkheden voor bosontwikkeling verkennen in het gebied. Dit is een optie wanneer de ontwikkeling van nat schraalland of vochtig hooiland niet (overal) mogelijk is of wanneer de vereiste maatregelen te fors/ingrijpend zijn.

Er is nog niet veel ervaring met bosontwikkeling op voormalige landbouwgronden, vooral omdat het een lange periode vergt voor een bos om zich te ontwikkelen. In lopend OBN-onderzoek, waar Onderzoekcentrum B-WARE bij betrokken is, wordt de beschikbare kennis over bosontwikkeling op voormalige landbouwgronden verzameld.

Omdat de natuurwaarde van bos voor een belangrijk deel door de kroonlaag wordt bepaald, kan er ook bos met een vrij hoge natuurwaarde ontwikkeld worden in een voedselrijke situatie met een bouwvoor. De meeste boomsoorten groeien goed op een bouwvoor, dus een bos met variatie in boomsoorten, leeftijden, licht, microklimaat, houtstructuur e.d. kan zich vrij eenvoudig ontwikkelen. De ondergroei is echter ruig (bij veel licht) of ontbrekend (bij weinig licht).

Dit betekent dat op de huidige toplaag vooral bos met een sterk verruigde ondergroei tot ontwikkeling kan komen (een productiebos om nutriënten te onttrekken en koolstof vast te leggen is dan wellicht een optie) terwijl voor de ontwikkeling van bossen met een soortenrijkere ondergroei het afgraven van de voedselrijke toplaag (zoals eerder beschreven) gewenst is. De Olsen-P en P-zout concentraties zijn ook in bossen waarschijnlijk sturend voor een soortenrijkere ondergroei: bossen met een soortenrijke ondergroei komen voor op voedselarme tot matig voedselrijke bodems.

Op basis van de mate van buffering van het grondwater en de calciumconcentraties in de bodem zullen het in dit gebied waarschijnlijk grotendeels elzenbroekbossen tot ontwikkeling komen op vochtige tot natte locaties (nat schraalland en vochtig hooiland in Figuur 35). Voldoende

doorstroming (geen uittredend water opstuwen) en droogval van de toplaag in de zomerperiode is essentieel. Voor elzenbroekbossen met een goed ontwikkelde ondergroei is P limitatie ook belangrijk (Smolders e.a., 2021). Deze zullen zich op de huidige bodems/toplagen dus niet kunnen ontwikkelen. Vernatting van de bouwvoor leidt vrijwel altijd tot een sterke mobilisatie van fosfaat, wat in lage vegetaties doorgaans tot pitrusontwikkeling leidt. In dergelijk broekbos is te verwachten dat pitrus, liesgras en kroos dominant zullen worden. Ook in broekbossen lijkt verwijdering van de bouwvoor dus de enige oplossing. Uitzonderingen zijn wellicht locaties met een sterke kwel van ijzerhoudend grondwater, waardoor fosfaat niet vrij kan komen.

Op lokaal minder calciumhoudende flanken en op drogere, vochtige plekken (heide en heischraal grasland in Figuur 35) is het de verwachting dat vooral berken(broek)bossen tot ontwikkeling komen. In Tabel 12 worden een aantal relevante bodemchemische kenmerken van deze bostypen gegeven.

Bijna alle landbouwgronden zijn geëgaliseerd. Op zo'n vlakke bodem ontwikkelt zich een veel minder divers bos. Microreliëf is een belangrijke motor van biodiversiteit in een toekomstig bos.

Tabel 12. Overzicht van een aantal belangrijke bodemchemische kenmerken van enkele rivier- en beekbegeleidende bostypen. Bron: referentiedatabase GRIP (Gemeten Referentiewaarden In Plantengemeenschappen) van Onderzoekcentrum B-WARE.

Bostype	Olsen-P ($\mu\text{mol/l}$)	P-z ($\mu\text{mol/l}$)	Totaal-P (mmol/l)	$\text{NH}_4\text{-z}$ ($\mu\text{mol/l}$)	$\text{NO}_3\text{-z}$ ($\mu\text{mol/l}$)	Totaal-Ca (mmol/l)	Ca-z ($\mu\text{mol/l}$)	Totaal-Fe (mmol/l)
Berkenbroekbos Carici curtae-Betuletum pubescentis	200-600 (n=7)	0,2-7,7 (n=6)	2-11 (n=9)	15-115 (n=6)	0,8-45 (n=6)	5-35 (n=9)	800-6.500 (n=6)	5-60 (n=9)
Elzenbroekbos Carici elongatae-Alnetum	100-800 (n=8)	0,3-2,1 (n=9)	4-22 (n=69)	140-800 (n=9)	1-70 (n=9)	30-100 (n=69)	3.000-17.000 (n=9)	40-385 (n=69)
Vogelkers-essen Pruno-Fraxinetum	400-1200 (n=12)	0,6-1,7 (n=13)	7-13 (n=12)	80-195 (n=13)	50-310 (n=13)	15-70 (n=12)	7.500-15.500 (n=13)	100-295 (n=12)
Kalkrijk eiken-haagbeukenbos Primulo elatioris-Carpinetum typicum	350-1000 (n=9)	1,0-5,1 (n=9)	9-18 (n=9)	85-165 (n=9)	11-460 (n=9)	30-300 (n=9)	8.000-25.000 (n=9)	300-475 (n=9)
Kalkarm eiken-haagbeukenbos Stellario-Carpinetum	900-1300 (n=7)	1,0-4,3 (n=8)	5-9 (n=7)	100-350 (n=8)	100-850 (n=8)	15-25 (n=7)	1.500-7.500 (n=8)	25-160 (n=7)

6. SYNTHESE EN SAMENVATTING

6.1 Aanleiding en opzet onderzoek

- Onderzoekcentrum B-WARE heeft in opdracht van Prolander een bodem- en hydrochemisch onderzoek uitgevoerd om natuurpotenties en geschikte inrichtingsmaatregelen in kaart te brengen voor een aantal (voormalige) landbouwgronden in het beekdal van de Vledder Aa. Als gevolg van het verleden van (mogelijk intensief) agrarisch gebruik en bemesting zijn waarschijnlijk maatregelen vereist om de nutriëntenconcentraties te verlagen voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen als nat schraalland (N10.01) en vochtig hooiland (N10.02).
- Ten behoeve van hydrologisch herstel van het gebied kan ervan uit worden gegaan dat de meeste watergangen worden gedempt tot aan maaiveld, behalve waar afwatering voor bebouwing, landbouw of wegen vereist blijft. Het toekomstig hydrologisch systeem is gericht op afvloeien over maaiveld in de laagtes en zo lang mogelijk vasthouden van gebiedseigen (grond)water, waarbij het creëren van een doorstroomsysteem (geen opstuwung die de kwel wegdukt) met droogval van de toplaag in de zomerperiode het uitgangspunt is.
- Het onderzoek is primair gericht op de bodemchemie. Tevens zijn enkele grond- en oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen uitgevoerd. Het uitvoeren van een (ecohydrologische) systeemanalyse en het opstellen van een inrichtingsplan maken geen deel uit van het onderzoek. Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek kan de opdrachtgever gericht keuzes maken bij de gebiedsontwikkeling. Op 69 locaties werd het bodemprofiel beschreven en werden op verschillende diepten bodemonsters geanalyseerd. In het gebied werden ook een aantal referentiemonsters verzameld.
- Daarnaast werd bepaald in hoeverre de eventueel af te graven voedselrijke grond gebruikt kan worden voor het dempen van de bestaande watergangen. Daarbij werd ook gekeken of de voedselrijke grond afgegraven kan worden zonder het risico op het verstoren van archeologische en bodemkundige waarden.

6.2 Referentiemetingen omgeving Vledder Aa

- De referentielocaties in het onderzoeksgebied kunnen opgedeeld worden in nog te voedselrijke referenties (R1 t/m R5 en R10; Olsen-P: 1501-2194 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 16,8-45,4 mmol/l; Tabel 6) en voedselarme referenties (R6 t/m R9, R11 en R12; Olsen-P: 227-890 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 1,3-16,4 mmol/l; Tabel 6). Verschralen van de bodem op de te voedselrijke referentielocaties tot een streefconcentratie van 800 $\mu\text{mol/l}$ (maximum vochtig hooiland) vergt nog een lange periode (ca. 60-200 jaar; bodempakket van 25 cm; Tabel 6). De verwachting is dat de vegetatie op deze locaties nog lange tijd wat ruiger zal blijven. Onder invloed van ijzerrijk grondwater kan de verschraling worden versneld, maar dit is lastig te kwantificeren.
- Op referentielocatie R7 t/m R9 is de veenbodem (55-59% organische stof) arm aan fosfaat (Olsen-P: 227-262 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 12,8-16,4 mmol/l; Tabel 6). Het veen is goed gebufferd (Ca-t: 100-140 mmol/l en Ca-z: 24.500-32.000 $\mu\text{mol/l}$) en (zeer) ijzerrijk (Fe-t: 435-484 mmol/l; Tabel 6). De bodemchemie van de toplaag van het veen voldoet aan de voorwaarden voor blauwgrasland of vochtig hooiland.
- Op referentielocatie R11 en R12 is de P-rijke bovengrond al eerder afgegraven en heeft zich een heide/heischraal grasland ontwikkeld. De toplaag van de zandbodem is fosfaatarm (Olsen-P: 231-260 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 1,3-2,3 mmol/l; Tabel 6) en voldoet aan de streefconcentratie voor

Olsen-P (300 µmol/l). De zandbodem is zwak gebufferd (Ca-t: 11 mmol/l en Ca-z: 3.000-4.500 µmol/l) en matig tot sterk ijzerhoudend (Fe-t: 39-101 mmol/l; Tabel 6). Gezien de mate van buffering ligt inderdaad de ontwikkeling van een heide (R11) of heischraal grasland (R12) voor de hand.

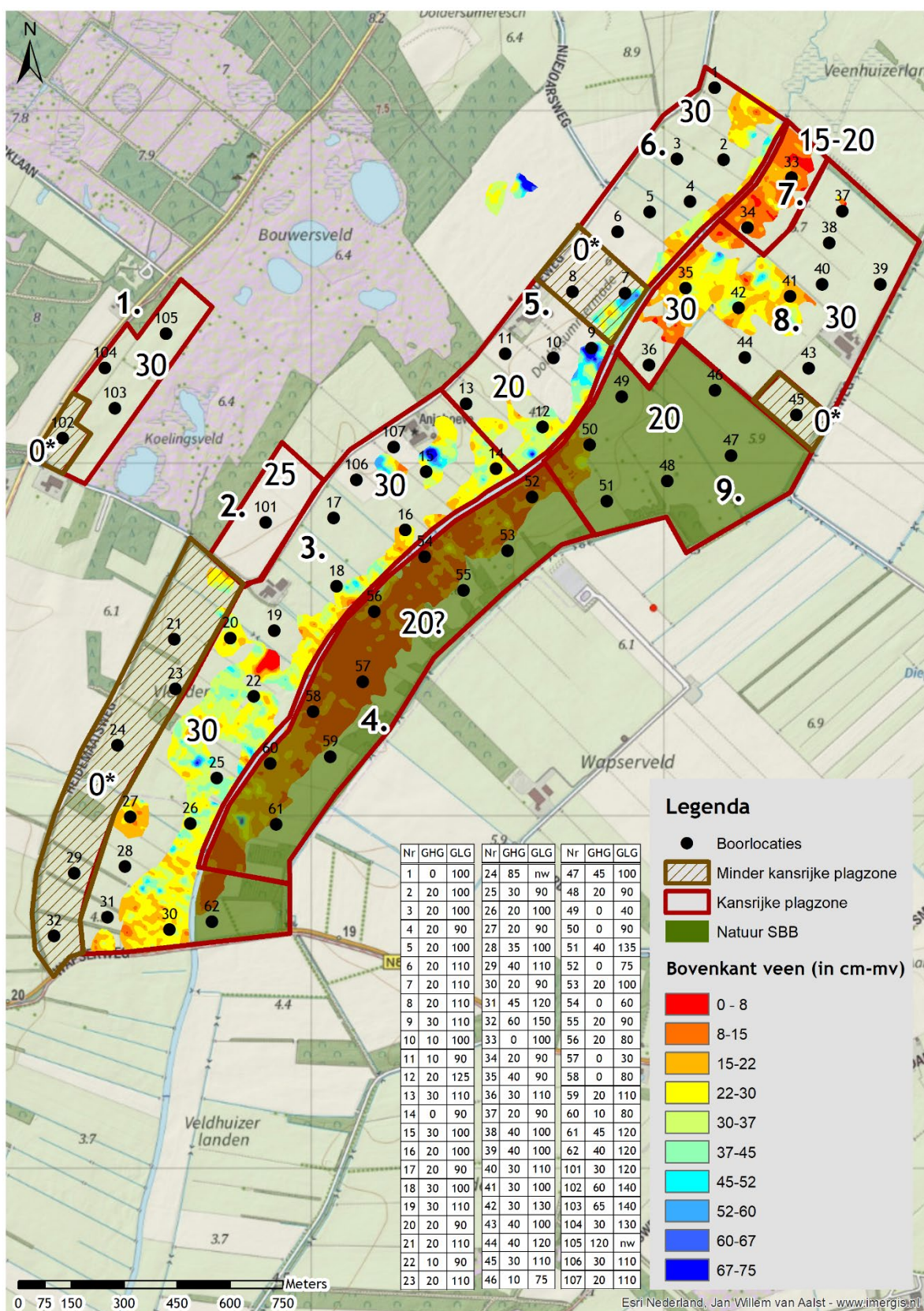
6.3 Oppervlakte- en grondwaterkwaliteit

- Bovenstrooms het onderzoeksgebied is het oppervlaktewater van de Vledder Aa licht gebufferd (pH 6,4 en alkaliniteit 645 µeq/l; Tabel 7). Het water in de Vledder Aa dat zuidelijk het onderzoeksgebied uitstroomt is veel sterker gebufferd (pH 6,8 en alkaliniteit 1730 µeq/l; Tabel 7). Deze toename is het gevolg van voeding van de beek in het onderzoeksgebied met toestromend gebufferd grond- en/of oppervlaktewater of als gevolg van reductieprocessen in de waterbodem van de beek.
- Binnen het onderzoeksgebied wordt het oppervlaktewater in de (na)zomer aangerijkt met nitraat en sulfaat. In de zomermaanden wordt bij droogval van de bodem ammonium in de bodem geoxideerd tot nitraat en het mobiele nitraat(overschot) kan, met name na het groeiseizoen, uitspoelen naar de aangrenzende sloten en het grondwater. Sulfaat kan uitspoelen als gevolg van de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem.
- Binnen het onderzoeksgebied wordt het oppervlaktewater in de (na)zomer ook aangerijkt fosfaat. De hoge concentraties totaal-P in het oppervlaktewater duiden op de aanwezigheid van colloïdale P-rijke deeltjes. Bij de inundatie van voedselarme percelen kan met name de afzetting van P-rijke slibdeeltjes een risico vormen voor verzuuring.
- De buffercapaciteit (gemeten als bicarbonaat) van het grondwater in het onderzoeksgebied varieert sterk. Vooral in raai 2, centraal in de middenloop van de Vledder Aa, is zowel het ondiepe als diepe grondwater sterk gebufferd ($\text{HCO}_3^- > 1500 \mu\text{mol/l}$ en $\text{pH} > 6$; Tabel 8).
- Voor de ontwikkeling van grondwater gevoede natuurtypen zoals vochtig hooiland en blauwgrasland is het belangrijk dat het grondwater gebufferd en ijzerrijk is, maar arm aan nutriënten en sulfaat. Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties op de meeste locaties laag ($< 500 \mu\text{mol/l}$; Tabel 8). Het grondwater is wat rijker aan sulfaat op locatie GW11 (ondiep) en GW17. Dit sulfaat kan met het grondwater aangevoerd zijn, maar het kan ook vrijgemaakt worden bij de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de (veen)bodems bij droogte (oxidatie door zuurstof) of bij nitraatuitspoeling (oxidatie door nitraat). Sulfaat kan een probleem vormen aangezien het, net als nitraat, kan fungeren als alternatieve elektronenacceptor bij de anaerobe afbraak van organisch materiaal/veen en waarbij het sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide. Sulfide bindt sterk aan ijzer en kan leiden tot de mobilisatie van ijzergebonden fosfaat (interne eutrofiëring).
- Op basis van EGV-metingen uit juni, augustus, november 2021 en januari 2022 blijkt dat de EGV van het diepe grondwater vrij constant is, dit indiceert dat de samenstelling van het diepe gebufferde grondwater vrij stabiel zal zijn. Centraal in het beekdal ontbreekt (lokaal) het keileem, zodat bij voldoende kweldruk het diepe gebufferde grondwater ook de wortelzone kan bereiken.

6.4 Kansen voor de ontwikkeling van voedselarme natuurtypen

- Voor de ontwikkeling van de beoogde natuurbeheertypen kunnen de volgende streefconcentraties worden gehanteerd (GRIP database Onderzoekcentrum B-WARE):
 - Heide: Olsen-P 100-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem (totaal-P veelal $<2,5 \text{ mmol/l}$), soortenrijk bij $\text{Ca-z } \pm 1.500\text{-}4.000 \text{ } \mu\text{mol/l}$, $\text{pH-z } >3,5$, $\text{Al/Ca } <2$, $\text{NH}_4\text{-z } <200 \text{ } \mu\text{mol/l}$;
 - Vochtig heischraal grasland: Olsen-P 100-400 $\mu\text{mol/l}$ bodem ($\text{Ca-z } 10.000\text{-}30.000 \text{ } \mu\text{mol/l}$);
 - Blauwgrasland: Olsen-P 200-500 $\mu\text{mol/l}$ bodem ($\text{Ca-z } 10.000\text{-}30.000 \text{ } \mu\text{mol/l}$).
 - Vochtig hooiland: Olsen-P 300-500/900 $\mu\text{mol/l}$ bodem ($\text{Ca-z } >14.000 \text{ } \mu\text{mol/l}$);
 - Kruiden- en faunarijk grasland: $>1200 \text{ } \mu\text{mol/l}$ bodem (mits $\text{P-z } < 2 \text{ } \mu\text{mol/l}$ en nitraat $<100 \text{ } \mu\text{mol/l}$).
- De toplaag van de (voormalige) landbouwgronden is verrijkt met fosfaat (ca. 1300-2800 μmol Olsen-P/l en ca. 15-28 mmol/l totaal-P). De toplaag van de bouwvoor (Ap-horizont) is het sterkst verrijkt. Onder de bouwvoor nemen de P-concentraties fors af (Figuur 30). Op een groot aantal locaties is de bodem onder de bouwvoor relatief P-arm, maar nog niet direct voldoende P-arm voor de beoogde natuurontwikkeling. Hierdoor kan in eerste instantie lokaal vervuiling ontstaan en is aanvullend verschrallingsbeheer (maaien en afvoeren) van circa 5-15 jaar vereist is om de gewenste abiotische condities te realiseren.
- In Figuur 33 wordt de verschrallingsduur van de toplaag (0-25 cm-mv) tot een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ (totaal-P ondergrens: 3 mmol/l) ruimtelijk weergegeven per locatie. Op de meeste locaties varieert deze van circa 80-200 jaar bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jr . Op een aantal locaties ligt de verschrallingsduur wat lager, tussen de 10-40 jaar (locaties 25, 26, 49, 52, 54, 102, 103). Een gericht uitmijnbeheer (met een grasklaver-mengsel of productieve graszode in combinatie met K- en/of N-bemesting) gaat vier keer sneller. Gemiddeld bedraagt de P-afvoer 40 kg/ha/jr . Voor een gericht uitmijndadvies zijn aanvullende analyses vereist. Het is de vraag of gezien de natte omstandigheden in het gebied uitmijnen reëel is. Indien minder snedes kunnen worden gemaakt, zal er jaarlijks ook minder P worden afgevoerd. Bovendien dient na het realiseren van de vereiste verschralling de zode te worden geplagd (doelsoorten ontbreken waarschijnlijk) waarna maaisel uit een schraalland of vochtig hooiland kan worden opgebracht.
- In Figuur 33 wordt ook de ruimtelijke variatie in de ijzerconcentratie in het onderzoeksgebied weergegeven. Op de meeste locaties in het zuidwestelijke deel van het onderzoeksgebied varieert de ijzerconcentratie van circa $<100\text{-}250 \text{ mmol/l}$. In het zuidoostelijke deel, de natuurpercelen van Staatsbosbeheer, ligt de ijzerconcentratie over het algemeen wat hoger, circa 250-800 mmol/l . In het noordelijke deel van het onderzoeksgebied varieert de ijzerconcentratie op de meeste locaties ook van 250-800 mmol/l en op enkele locaties zelfs nog hoger ($>800 \text{ mmol/l}$).
- In Tabel 11 en in Figuur 35 wordt een overzicht gegeven van de ontgrondingsdieptes (in cm) die nodig zijn om P-arme condities te realiseren waarbij (+) = <3 jaar, + = 4-10 jaar en ++ = 11-25 jaar aanvullend verschrallingsbeheer is vereist. Op veel plekken biedt een ontgroning tot 20-40 cm perspectief (en wordt een groot deel van het fosfaat afgevoerd), maar is aanvullend beheer vereist om verdere verschralling te realiseren. Door middel van het inbrengen van maaisel uit een referentieterrein kan de ontwikkeling van ruigtesoorten worden onderdrukt en de ontwikkeling van de doelvegetatie worden gestimuleerd.

- De natuurpotenties na verschralling zijn gebaseerd op mate van buffering van de bodem, waarbij de Ca-z concentraties (in $\mu\text{mol/l}$) sturend zijn: $<4.000 \mu\text{mol Ca-z/l}$ = heide (HEI), $4.000-10.000 \mu\text{mol Ca-z/l}$ = heischraal grasland (HGL) en $> 10.000 \mu\text{mol Ca-z/l}$ = blauwgrasland (BLG)/vochtig hooiland (VH).
- In Figuur 42 worden, op basis van het verschrallingsadvies per locatie, enkele plagzones (1-9) onderscheiden. Voor gedetailleerde adviezen per locatie zie Tabel 11. Het onderzoeksgebied kan grofweg worden onderverdeeld in 9 kansrijke plagzones:
 - Plagzone 1: locaties 103-105. Na een ontgronding van 30 cm, lokaal in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer, wordt in deze zone op de niet tot zwak gebufferde zandbodems een ontwikkeling richting heide of heischraal grasland verwacht.
 - Plagzone 2: locatie 101. Na een ontgronding van 25 cm, in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer, wordt in deze zone op de niet gebufferde zandbodem een ontwikkeling richting heide verwacht.
 - Plagzone 3: locaties 14-20, 22, 25-28, 30-31, 62, 106-107. Na een ontgronding van 30 cm is de ontwikkeling van heide (locatie 19, 28 en 31), heischraal grasland (locatie 25, 62 en 106), blauwgrasland of vochtig hooiland te verwachten onder de juiste hydrologische condities. Lokaal zal na 30 cm afgraven de bodem nog te P-rijk zijn en is aanvullend verschrallingsbeheer nodig.
 - Plagzone 4: locaties 52-61. Deze zone betreft natuurpercelen van Staatsbosbeheer. Uitgangspunt is hier niet afgraven van de voedselrijke toplaag van de bodem, maar verschrallen van de bodem via maaien en afvoeren. De verschrallingsduur varieert sterk binnen deze zone. Op locaties 52 en 54 ligt de verschrallingsduur tussen de 10-40 jaar. Op locaties 47, 53, 55-59 en 62 tussen de 40-80 jaar. Op de overige locaties is de verschrallingsduur hoog, tussen de 81-200 en op sommige locaties zelfs tussen 201-400 jaar (Figuur 33). Binnen deze zone liggen ook enkele referentielocaties (locatie R6 t/m R10; Figuur 10). Op locatie R7, R8 en R9 is de venige toplaag van de bodem al P-arm (ca. $250 \mu\text{mol Olsen-P/l}$; Tabel 6). Op locatie R6, en vooral locatie R10, is de meer zandige toplaag rijker aan P ($890-1501 \mu\text{mol Olsen-P/l}$; Tabel 6). Dit bevestigt de grote variatie in fosfaatbeschikbaarheid binnen deze zone. Zonder afgraven liggen er met een verschrallingsbeheer lokaal kansen voor vochtig hooiland of blauwgrasland (locatie 52-57). Op locatie 58 t/m 61 ligt de ontwikkeling van vochtig kruidenrijk grasland voor de hand. Een alternatief is om toch te overwegen in dit gebied te plaggen. In Figuur 35 is te zien dat er veel winst te behalen valt met het afgraven van 20 cm en dat op de meeste locaties dan direct goede kansen voor blauwgrasland en vochtig hooiland ontstaan. Lokaal (zoals ter hoogte van de referentielocaties R6 t/m R9) is plaggen niet nodig en vanwege het voorkomen van doelsoorten (zie ook Figuur 17) ook niet wenselijk. Bij plaggen binnen deze zone zal er dus maatwerk verricht moeten worden.
 - Plagzone 5: locaties 9-13. Na een ontgronding van 20 cm liggen er gezien de buffering van de bodem kansen voor de ontwikkeling van blauwgrasland (en lokaal vochtig hooiland).
 - Plagzone 6: locaties 1-6. In deze plagzone is na een ontgronding van 30 cm de ontwikkeling van blauwgrasland (op de meer gebufferde locaties 1-3) en heide/heischraal grasland (locaties 4-6) te verwachten.



Figuur 42. Overzicht van de kansrijke en minder kansrijke plagzones (groot zwart cijfer geeft de globale ontgrondingsdiepte (in cm) per zone die bruin/rood omlijnd is) in het onderzoeksgebied. * Op deze plekken zijn de vereiste maatregelen te fors en wordt geadviseerd om op de toplaag een kruiden- en faunarijke grasland te ontwikkelen. De huidige GHG en GLG (t.o.v. huidig maaiveld) wordt in de figuur gegeven. Er worden echter nog vernattingsmaatregelen uitgevoerd.

- Plagzone 7: locaties 33-34. In deze plagzone kan met het afgraven van de bouwvoor (15-20 cm) heischraal grasland (locatie 34) en blauwgrasland/vochtig hooiland (locatie 33) tot ontwikkeling komen onder de juiste hydrologische omstandigheden.
- Plagzone 8: locaties 35-44. In deze plagzone kan met een ontgroning van 30 cm op de meeste locaties heischraal grasland en lokaal blauwgrasland (locatie 35 en 42) tot ontwikkeling komen. Lokaal is aanvullend verschrallingsbeheer vereist.
- Plagzone 9: locaties 46-51. Deze zone betreft natuurpercelen van Staatsbosbeheer. Uitgangspunt is hier niet afgraven van de voedselrijke toplaag van de bodem, maar verschrallen van de bodem via maaien en afvoeren. De verschrallingsduren zijn echter op de meeste locaties fors (Figuur 33). Een alternatief is om toch te overwegen om in dit gebied te plaggen. In deze plagzone valt met een ontgroning van 20 cm-mv veel winst te behalen en kan onder de juiste hydrologische omstandigheden op de meeste locaties P-arme natuur als heischraal grasland, blauwgrasland en vochtig hooiland tot ontwikkeling kan komen. Lokaal is de bodem nog licht of matig verrijkt met fosfaat waardoor een aanvullend verschrallingsbeheer nodig is.
- Een aantal locaties (7, 8, 21, 23, 24, 29, 32, 45 en 102) zijn aangewezen als minder kansrijke zones (zones met label 0*). Op deze plekken zijn de vereiste maatregelen te fors (niet gewenst) en wordt geadviseerd om op de toplaag een kruiden- en faunarijk grasland te ontwikkelen.
- Uitgaande van de benodigde plagdiepte en de mate van buffering van het grondwater lijken plagzones 3 (vooral noordelijke deel), 5, 4 en 9 het meest kansrijk voor de ontwikkeling van nat schraalland en vochtig hooiland. Om een verbinding te maken tussen het beekdal en de bestaande natuur in het Koelingsveld en Brouwersveld is het waardevol om in plagzone 2 de P-rijke toplaag (25 cm) af te graven. Deze zone vormt dan een geheel met de eerder geplagde percelen waarop referentielocatie R11 en R12 liggen. In het noordelijke deel van het onderzoeksgebied liggen kansen voor overgangen van meer gebufferde natuurtypen (blauwgrasland en dotterbloemhooiland) richting zwak gebufferde natuurtypen (heischraal grasland en heide in plagzones 8, 7 en 6).
- 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 zal dit leiden tot een andere ontwikkeling:
 - Vochtig heischraal grasland → droog heischraal grasland;
 - Blauwgrasland → droog heischraal grasland / kruiden- en faunarijk grasland;
 - Vochtig hooiland → glanshaverhooiland (kleiig zand) / kruiden- en faunarijk 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 zeggengemeenschap;
- Blauwgrasland → kleine zeggengemeenschap / trilveen / rietmoeras;
- Vochtig hooiland → trilveen / rietmoeras.
- Een eventuele ontgroning dient getoetst te worden op de inpassing in het ecohydrologische systeem. Dit maakt geen onderdeel uit van het onderzoek. Het doel van dit onderzoek is om de potenties en vereiste maatregelen in kaart te brengen zodat vervolgens weloverwogen keuzes kunnen worden gemaakt per locatie zodat het systeem (in combinatie met standplaatscondities) kan worden hersteld: gaat men voor de ontwikkeling van voedselarme

.....

natuurtypen als blauwgrasland of vochtig hooiland of zijn de vereiste maatregelen te ingrijpend en wordt ingezet op de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland op de huidige toplaag. Wanneer keuzes moeten worden gemaakt heeft het de voorkeur om een kleiner oppervlak goed in te richten dan op een groter oppervlak voor 'half werk' te kiezen.

- Op de locaties met een Ca-t concentratie lager dan 10 mmol/l en/of een Ca-z concentratie lager dan 4.000 $\mu\text{mol/l}$ wordt na ontgronding een eenmalige bekalking met 2000 kg Dolokal per hectare aanbevolen om de mate van buffering op peil te brengen en ter bevordering van de soortenrijkdom. Tevens wordt hiermee ammoniumophoping/-toxiciteit voorkomen (nitrificatie wordt geremd onder zure omstandigheden). Dit bekalkingsadvies is van toepassing op de locaties 5, 6, 8, 19, 24, 28, 31, 39, 41, 101, 103-105. Wanneer de K-z concentratie <200-250 $\mu\text{mol/l}$ is zou dit gecombineerd kunnen worden met het opbrengen van een kalihoudend steenmeel (bijvoorbeeld 1000 kg Vulkamin per hectare). Uit onderzoek (De Graaf e.a., 2009) is namelijk gebleken dat in soortenarme heideterreinen de kaliumconcentraties in het zoutextract lager zijn dan in soortenrijke heiden en heischrale graslanden. 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. Op alle locaties waar een eenmalige bekalking wordt geadviseerd, zijn de K-z concentraties voldoende hoog.
- Na een eventuele ontgronding wordt geadviseerd om maaisel/plagsel uit een referentieterrein op te brengen om de ontwikkeling van de doelvegetatie te stimuleren en de ontwikkeling van algemene (ruigte)soorten te onderdrukken. Dit is een essentiële aanvullende maatregel na het optimaliseren van de abiotische condities;
- Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd, ook wanneer vernattingsmaatregelen worden genomen. Er dient voldoende doorstroming te zijn en in de zomer dient de toplaag droog te vallen om P-binding te stimuleren en verzuuring te voorkomen. In verband met het veranderende klimaat (extremere weersomstandigheden) wordt geadviseerd de hydrologische omstandigheden (bij vernatting) regelbaar te maken.

6.5 Ontwikkeling kruiden- en faunairijk grasland

- Op plekken waar de maatregelen voor de ontwikkeling van hoogwaardige, P-gelimiteerde natuurtypen te ingrijpend zijn, kan de ontwikkeling van kruiden- en faunairijk grasland een alternatief zijn. Bij recent ander onderzoek in (de voormalige) landbouwenclave Oude Willem, bij het Canadameer en in het Mantingerzand (in opdracht van Prolander) werden bodemon monsters verzameld van goed ontwikkelde kruidenrijke graslanden die tot ontwikkeling zijn gekomen onder P-rijkere condities (13,1-16,3 $\mu\text{mol/l}$ totaal-P en 3820-6824 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P). Onder droge (50 cm-mv droogval in groeiseizoen), P-rijke condities kan een soortenrijkere ontwikkeling optreden wanneer de labiel-P concentraties laag zijn en/of sprake is van droogtestress en/of K- of N-limitatie. Waarschijnlijk maken de (zeer) lage nitraatconcentraties (<20-100 $\mu\text{mol/l}$) de kruidenrijke ontwikkeling in de genoemde gebieden mogelijk. Dit biedt perspectief voor de ontwikkeling van kruidenrijke graslanden op voormalige landbouwgronden waar vergelijkbare totaal-P en Olsen-P concentraties worden gemeten.
- De ontwikkeling van kruiden- en faunairijk grasland is een goed alternatief voor de niet kansrijke plagzone in het zuidwestelijke deel van het onderzoeksgebied (locatie 21, 23, 24, 29 en 32). Deze zone ligt op de drogere flank van het beekdal. De nitraatconcentraties in de toplaag van de bodem zijn hier niet heel laag, maar zeker ook net hoog (< 365 $\mu\text{mol NO}_3\text{-z/l}$; Tabel 10).

- Wanneer de nitraatconcentraties (nog) te hoog zijn, zullen deze afnemen door te stoppen met bemesting en een beheer van maaien en afvoeren. Hoe snel dit gaat is lastig te kwantificeren zodat het advies is om gedurende dit proces de vegetatieontwikkeling en bodemchemie te monitoren. Voor de ontwikkeling van kruiden- en faunarijke graslanden onder droge condities zijn de volgende verschrallingsmaatregelen een optie, waarbij een combinatie natuurlijk ook mogelijk is:
 - Stoppen met bemesting en een verschrallingsbeheer van maaien en afvoeren hanteren om de nitraatconcentraties (NO_3^- -z concentraties) en tevens de P-z concentraties verder te verlagen waardoor op termijn (lastig te kwantificeren) het aandeel aan kruiden kan gaan toenemen;
 - Stoppen met bemesting en tijdelijk een gericht uitmijnbeheer van enkele jaren (ca. 2-4 jaar) hanteren om de nitraatconcentraties (NO_3^- -z concentraties) en tevens de P-z concentraties relatief snel, fors te verlagen waardoor het aandeel aan kruiden kan gaan toenemen. Dit wordt vooral geadviseerd op percelen die nu nog vrij productief en soortenarm zijn;
 - Alternatieve verschrallingsmaatregelen uitvoeren zoals tijdelijk akkeren;
 - Experimentele maatregelen uitvoeren zoals het chopperen van de zode in combinatie van het inzaaien van een passend gras-kruidenmengsel.
- Om op voedselrijkere gronden de dominantie van witbol te doorbreken, wordt geadviseerd witbol vroeg af te maaien, bijvoorbeeld in mei tot de bedekking voldoende laag is (bijvoorbeeld <25%). 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.
- Wanneer sprake is van vochtige tot natte omstandigheden (wellicht het geval in het onderzoeksgebied wanneer hydrologische maatregelen worden genomen) zijn voor de ontwikkeling van kruiden- en faunarijke graslanden voedselarmere condities gewenst (circa 1200 $\mu\text{mol/l}$) waarbij droogval van de toplaag in de zomerperiode belangrijk is.

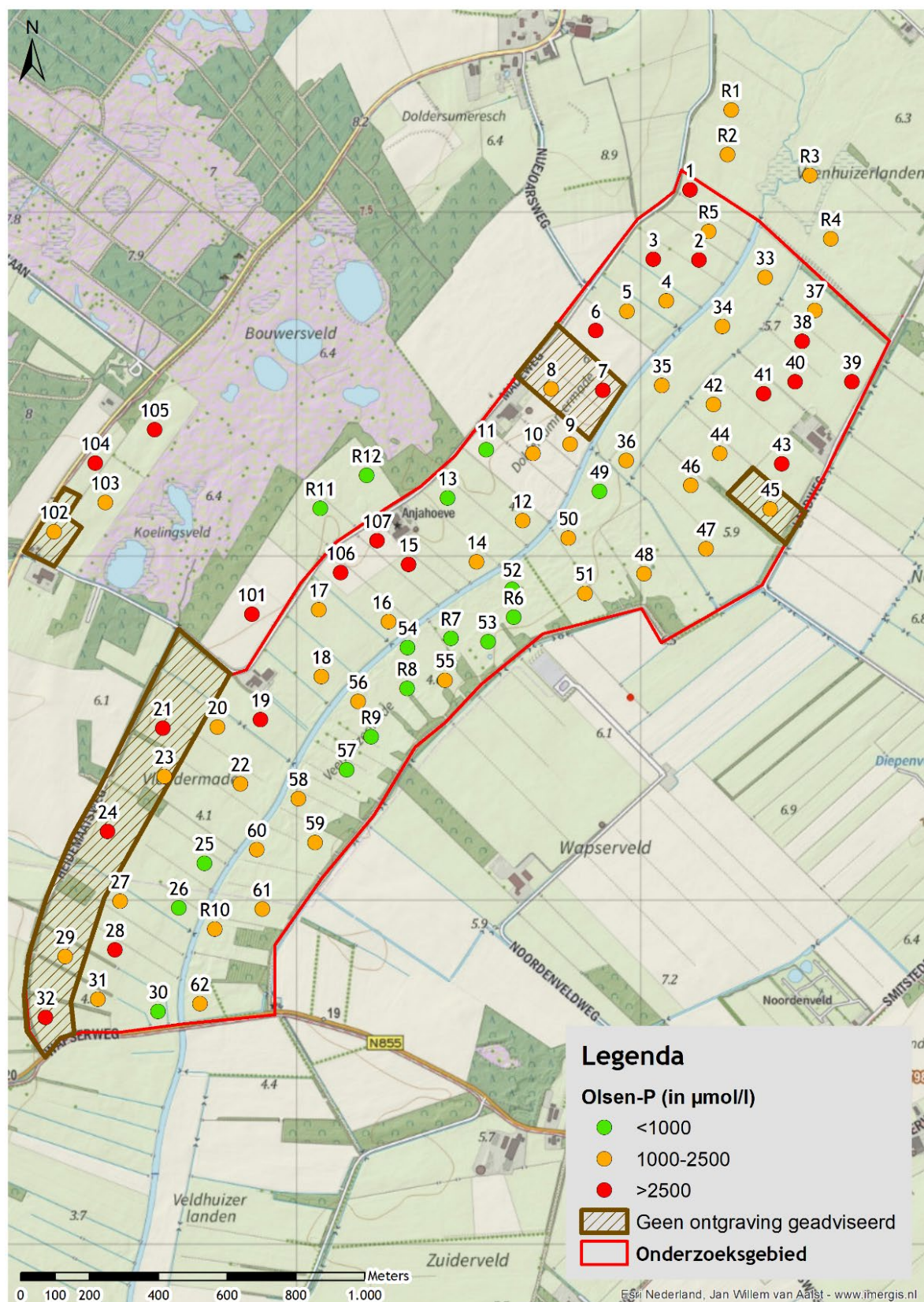
6.6 Bosontwikkeling

- De opdrachtgever wil ook de mogelijkheden voor bosontwikkeling verkennen in het gebied. Dit is een optie wanneer de ontwikkeling van nat schraalland of vochtig hooiland niet (overal) mogelijk is of wanneer de vereiste maatregelen te fors/ingrijpend zijn.
- Er is nog niet veel ervaring met bosontwikkeling op voormalige landbouwgronden, vooral omdat het een lange periode vergt voor een bos om zich te ontwikkelen. Omdat de natuurwaarde van bos voor een belangrijk deel door de kroonlaag wordt bepaald, kan er ook bos met een vrij hoge natuurwaarde ontwikkeld worden in een voedselrijke situatie met een bouwvoor. De meeste boomsoorten groeien goed op een bouwvoor, dus een bos met variatie in boomsoorten, leeftijden, licht, microklimaat, houtstructuur e.d. kan zich vrij eenvoudig ontwikkelen. De ondergroei is echter ruig (bij veel licht) of ontbrekend (bij weinig licht).
- Dit betekent dat op de huidige toplaag vooral bos met een sterk verruigde ondergroei tot ontwikkeling kan komen (een productiebos om nutriënten te onttrekken en koolstof vast te leggen is dan wellicht een optie) terwijl voor de ontwikkeling van bossen met een soortenrijkere ondergroei het afgraven van de voedselrijke toplaag (zoals eerder beschreven) gewenst is. De Olsen-P en P-zout concentraties zijn ook in bossen waarschijnlijk sturend voor een soortenrijkere ondergroei.

-
- Op basis van de mate van buffering van het grondwater en de calciumconcentraties in de bodem zullen het in dit gebied waarschijnlijk grotendeels elzenbroekbossen tot ontwikkeling komen op vochtige tot natte locaties (nat schraalland en vochtig hooiland in Figuur 35). Voldoende doorstroming (geen uittredend water opstuwen) en droogval van de toplaag in de zomerperiode is essentieel. Op lokaal minder calciumhoudende flanken en op drogere, vochtige plekken (heide en heischraal grasland in Figuur 35) is het de verwachting dat vooral berken(broek)bossen tot ontwikkeling komen.

6.7 Toepassing grond voor dempen watergangen

- Om de aanvoer van externe grond te beperken, is het de vraag of de grond die vrijkomt bij het afgraven van de fosfaatrijke toplaag geschikt is om de beek mee te dempen of sloten in het gebied te verondiepen/dempen. Bij de toepassing van fosfaatrijke grond bestaat het risico dat onder natte omstandigheden fosfaat wordt gemobiliseerd.
- Op basis van de Olsen-P concentratie worden de risico's op fosfaataflevering, en daarmee de mogelijkheid om de bodems te gebruiken bij verondieping van de beek of sloten, als volgt ingeschat:
 - Olsen-P <1000 µmol/l: risico op nalevering klein - geschikt voor verondieping watergangen;
 - Olsen-P 1000-2500 µmol/l: risico op nalevering - niet geschikt voor verondieping watergangen;
 - Olsen-P >2500 µmol/l: risico op nalevering groot - niet geschikt voor verondieping watergangen.
- De ruimtelijke variatie van de Olsen-P concentratie in de toplaag wordt gegeven in Figuur 43. In Tabel 13 worden de gemiddelde bodemchemische condities gegeven per plag-/ontgrondingszone (indeling volgens Figuur 42) waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de toplaag (0-20 cm-mv) en de laag onder de toplaag (ca. 20-30 cm-mv; alleen in de zones waar 30 cm afgraven wordt geadviseerd). Op basis van deze resultaten wordt geadviseerd om de bodems die vrijkomen bij de ontgrondingswerkzaamheden niet te gebruiken bij de verondieping of dempen van watergangen. Diepere bodemlagen zijn hier wel voor geschikt maar deze komen waarschijnlijk niet vrij bij de gebiedsontwikkeling. Minerale bodems hebben hierbij de voorkeur ten opzichte van veenbodems.



Figuur 43. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de Olsen-P concentratie van de toplaag.

Tabel 13. Overzicht van gemiddelde bodemchemie op verschillende dieptes (in cm-mv) in de plag-/ontgrondingszones waarbij OS = organisch stofpercentage; Ols-P = Olsen-P ($\mu\text{mol/l}$: de kleuren geven het risico op P-nalevering aan: groen = klein, oranje = matig en rood = groot); -t = totale concentratie (mmol/l; Fe/P ratio in mol/mol), -z = zoutuitwisselbare concentraties ($\mu\text{mol/l}$).

Zone	Diepte	OS	Olsen-P	P-t	Fe/P	Al-t	Ca-t	Fe-t	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z
1	0-20	7	3098	12,6	2,5	191	9	30	4,1	73	4,6	245	206
	20-30	6	2698	10,9	3,0	182	11	29					
2	0-15	4	4911	21,3	6,8	245	9	145	3,8	66	4,9	143	40
	15-25	4	4748	20,9	7,5	256	9	156					
3	0-20	8	2113	20,2	10,0	185	31	198	4,6	94	4,9	413	131
	20-30	10	1346	12,2	14,0	166	38	155	5,0	96	1,5	507	165
4	0-20	9	1218	19,1	17,6	192	42	320	4,5	94	1,4	213	203
5	0-20	10	1184	19,9	15,1	243	42	263	4,7	98	1,1	352	42
6	0-20	5	2728	25,8	13,8	231	22	437	4,6	95	2,6	238	72
	20-30	5	2720	22,1	15,6	223	20	383					
7	0-20	11	1430	65,8	15,3	130	56	956	4,9	99	1,2	356	111
8	0-20	8	2773	36,6	10,4	170	30	436	4,6	95	4,4	210	102
	20-30	4	1618	26,6	11,5	172	25	279	4,6	90	1,9	63	79
9	0-20	7	1350	19,2	20,1	182	37	387	4,7	98	1,3	106	106
	DIEPER	10	521	6,5	26,3	207	34	138	4,9	92	1,1	150	147

Tabel 14. Overzicht van de locaties waarbij volgens het plagadvies in Figuur 42 meer P-rijke grond wordt afgegraven dan alleen de bouwvoor. Voor iedere locatie is aangegeven of de overgang van de bouwvoor naar de onderliggende bodemlaag (zie profielbeschrijvingen in Bijlage 1) scherp, geleidelijk of diffuus is.

LOCATIE	PLAGDIEPTE cm	DIKTE BOUWVOOR cm	VERSCHIL cm	OVERGANG ONDERKANT BOUWVOOR
4	30	25	5	scherp
5	30	25	5	scherp
15	30	20	10	geleidelijk
16	30	20	10	geleidelijk
17	30	20	10	diffuus
22	30	20	10	geleidelijk
28	30	25	5	scherp
30	30	20	10	geleidelijk
34	20	15	5	scherp
36	30	25	5	scherp
37	30	20	10	scherp
38	30	20	10	diffuus
39	30	20	10	diffuus
40	30	20	10	scherp
41	30	20	10	scherp
50	20	15	5	geleidelijk
62	30	20	10	diffuus

6.8 Risico op aantasting archeologische waarden

- Een aandachtspunt is in hoeverre de voedselrijke grond afgegraven kan worden zonder het risico op het aantasten van nog in het gebied aanwezige archeologische en bodemkundige waarden. Uitgangspunt hierbij is dat als gevolg van het agrarische gebruik de bouwvoor geen belangrijke archeologische of bodemkundige waarden meer zal hebben. Uitgaande van de geadviseerde plagdiepten per zone (Figuur 42) komt het advies voor de meeste locaties uit op het afgraven van de bouwvoor (of minder). Lokaal is het advies om ook 5-10 cm van de bodem onder de bouwvoor af te graven. Op deze locaties bestaat het risico op aantasting van archeologische en bodemkundige waarden, vooral wanneer de overgang van de bouwvoor naar de onderliggende bodem scherp, dus ongestoord, is. In Tabel 14 wordt weergegeven op welke locaties het advies is om meer bodem af te graven dan alleen de bouwvoor en of de overgang naar de onderliggende bodem scherp, geleidelijk of diffuus is. Op basis hiervan is op locatie 4, 5, 28, 34, 36, 37 en 41 het risico op aantasting het grootste. Het advies is om op deze locaties aanvullend archeologisch onderzoek te laten doen.
- De bouwvoor is de op de meeste locaties zandig. Volgens het advies zullen er lokaal ook enige lagen worden afgegraven, maar dit betreft alleen (sterk) veraard veen of sterk humeus zand (< 25% organische stof). Op basis van de plagadviezen zal er nergens intact veen (> 30-50% organische stof) worden afgegraven.

6.9 Slotopmerking

Het maken van de juiste keuzes per locatie 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. LITERATUUR

- Becker, P. de (2004) Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno/Padion en Alnion incanae/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- 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.
- Brouwer, E., L. Denys, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Buiks & T. Onkelinx (2017) Competitive strength of Australian swamp stonecrop (*Crassula helmsii*) invading moorland pools. *Aquatic Invasions* 12(3): 321-331.
- 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.
- Dorland, E., K. Eichhorn, T. Van den Broek & M. Courbois (2020) Herstel kruidenrijke graslanden op zandgrond door tijdelijk akkerbeheer. *De Levende Natuur* 121: 86-91.
- Eichhorn, K., E. Brouwer, E. Dorland, R. Ketelaar & T. van den broek (2020) Kruidenrijke natuurgraslanden ontwikkelen op fosfaatrijke grond. Wat is er mogelijk? *De Levende Natuur* 121: 92-95.
- Ertsen, D., P. de Louw & J. Buma (2005) OGOR Natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.
- De Graaf, M.C.C., 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.
- Jonkman, H. & S. de Vries (2021) Middenloop Vledder Aa; Bodemopbouw. Rapport 2020-P-699, Medusa, Groningen.
- Ketelaar, S. (2021) Vledder Aa - geofysisch onderzoek middenloop. Rapport R001-1278260SKE-V01-naj-NL, Tauw, Assen.
- 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., H.B.M. Tomassen & J.G.M. Roelofs (1998) Sulfate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology* 32: 199-205.
- 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) Verpitruissing bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* 110 (1): 43-46.
- Loop, J. van der & H. van Kleef (2020) Omgaan met watercrassula in natuurgebieden. Uitgave Stichting Bargerveen, Nijmegen.
- Meij, T.J de (2022) EGV-metingen in het beekdal van de Vledder Aa. Notitie Staatsbosbeheer d.d. 4 februari 2022.
- 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.
- Nationaal Park Drents-Friese Wold (2022) Beekdal Vledder Aa. Geraadpleegd op 7 februari, 2022. <https://www.nationaalpark-drents-friese-wold.nl/projecten/beekdal-vledder-aa/>
- 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.
- 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 - Limes Divergens BV, Nijmegen.
- Schippers, W. (2012) Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. *Samenwerkende Uitgevers Vof*.
- 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.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.
- 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 F., M. van Mullekom, H. Tomassen & P. Westendorp (2019) Waterkwaliteitsproblemen tot in de bodem uitgezocht. De relatie tussen waterbodem en waterkwaliteit. Brochure Onderzoekcentrum B-WARE.
- Smolders, A.J.P., J. Runhaar, R. Loeb & E.C.H.E.T. Lucassen (2021) De terugkeer van het verdwenen hout - Randvoorwaarden voor de ontwikkeling van elzenbroekbos in beekdalen. *Landschap* 38(3): 146-155.
- Storymap Vledder Aa (2022) Ontdek de Vledder Aa. Geraadpleegd op 21 februari 2022. <https://storymaps.arcgis.com/stories/efb6c84bb0034c6aa76804b8837bd4e9>
- 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**:
- Visscher, A., M. van Mullekom, E. Bohnen-Verbaarschot & F. Smolders (2021) Bodem- en hydrochemisch onderzoek beekdal Koningsdiep. Opdrachtgever: Provincie Fryslân. Rapportnummer Onderzoekcentrum B-WARE RP-20.079.20.98.973-985.

.....

8. BIJLAGEN

8.1 Bijlage 1 - Beschrijvingen bodemprofiel

Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties in het gebied. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door ATKB (Jan Vermeer).

Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

grind

	Grind, siltig
	Grind, zwak zandig
	Grind, matig zandig
	Grind, sterk zandig
	Grind, uiterst zandig

zandtest

	Zandtest, kleiig
	Zandtest, zwak siltig
	Zandtest, matig siltig
	Zandtest, sterk siltig
	Zandtest, uiterst siltig

veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleiig
	Veen, sterk kleiig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

klei

	Klei, zwak siltig
	Klei, matig siltig
	Klei, sterk siltig
	Klei, uiterst siltig
	Klei, zwak zandig
	Klei, matig zandig
	Klei, sterk zandig

leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

overige toevoegingen

	zwak humeus
	matig humeus
	sterk humeus
	zwak grindig
	matig grindig
	sterk grindig

geur

	geen geur
	zwakke geur
	matige geur
	sterke geur
	uiterste geur

olie

	geen olie-water reactie
	zwakke olie-water reactie
	matige olie-water reactie
	sterke olie-water reactie
	uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

	>0
	>1
	>10
	>100
	>1000
	>10000

monsters

	geroerd monster
	ongeroerd monster
	volumering

overig

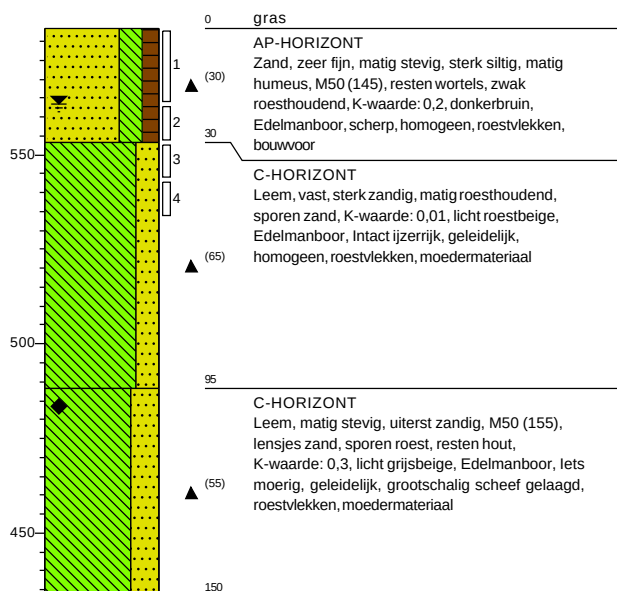
	bijzonder bestanddeel
	Gemiddeld hoogste grondwaterstand
	grondwaterstand
	Gemiddeld laagste grondwaterstand

	slib
	water

Boring: 01

X: 213144,23
Y: 544065,48
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,834

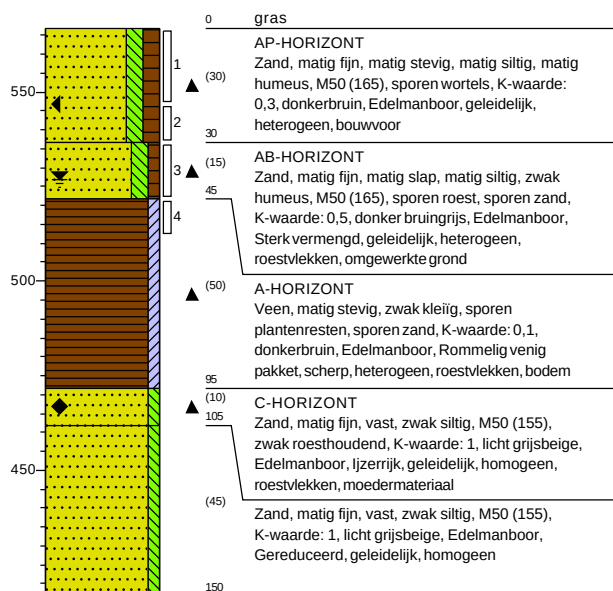
GWS: 20
GHG: 0
GLG: 100



Boring: 02

X: 213170,24
Y: 543861,50
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,668

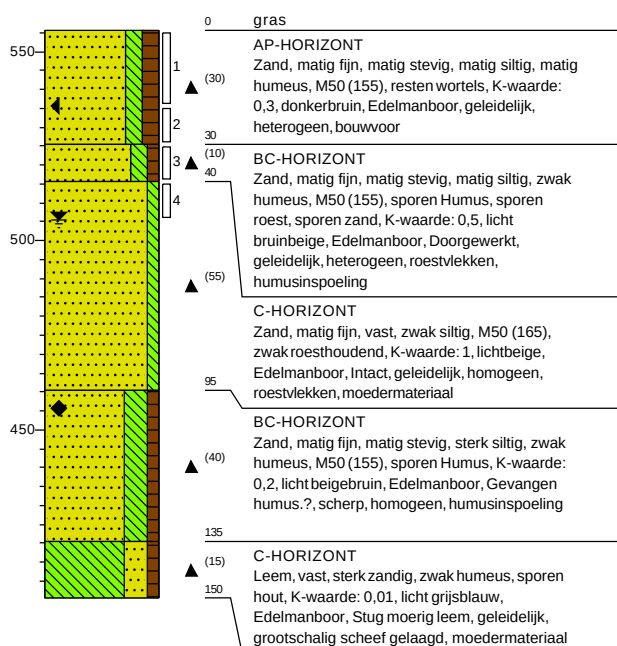
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 03

X: 213037,59
Y: 543863,67
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,556

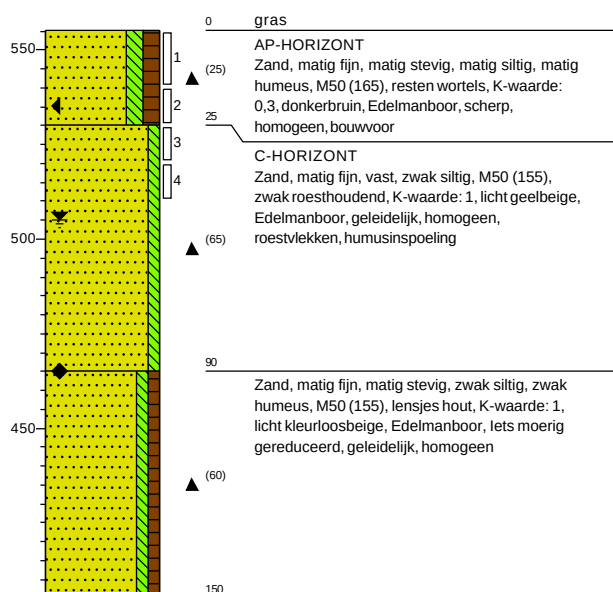
GWS: 50
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 04

X: 213075,02
Y: 543742,67
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,552

GWS: 50
GHG: 20
GLG: 90



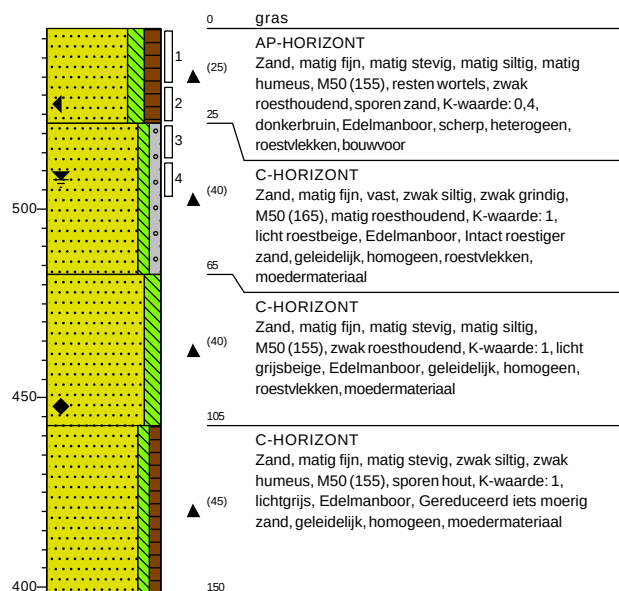
Projectcode: PR-21.182

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Vledder Aa

Boring: 05

X: 212960,07
Y: 543712,93
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,477

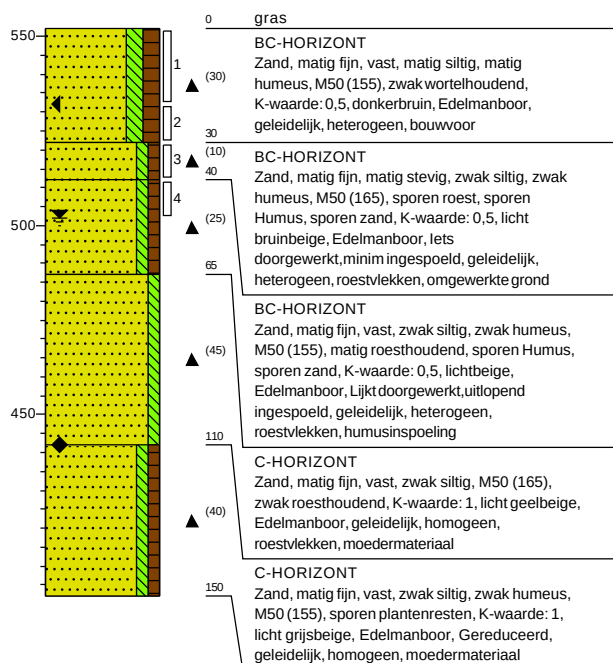
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 06

X: 212869,52
Y: 543656,42
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,522

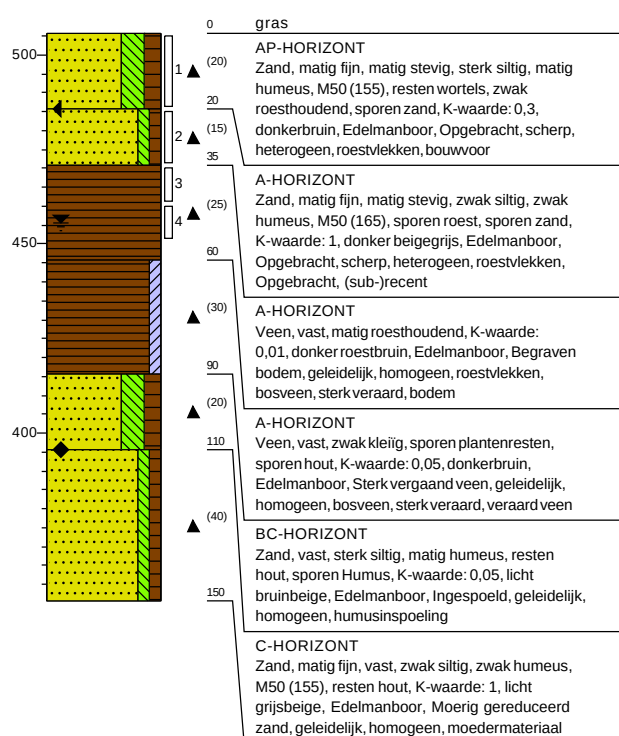
GWS: 50
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 07

X: 212889,99
Y: 543482,50
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,057

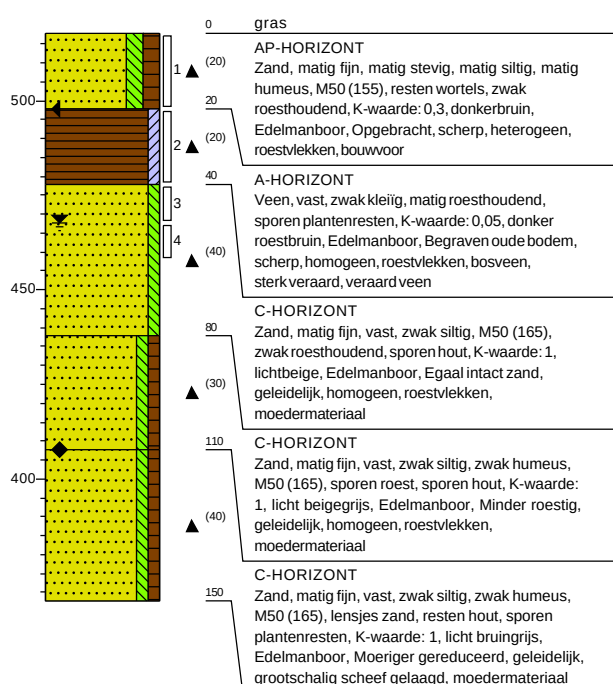
GWS: 50
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 08

X: 212740,72
Y: 543486,72
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,179

GWS: 50
GHG: 20
GLG: 110



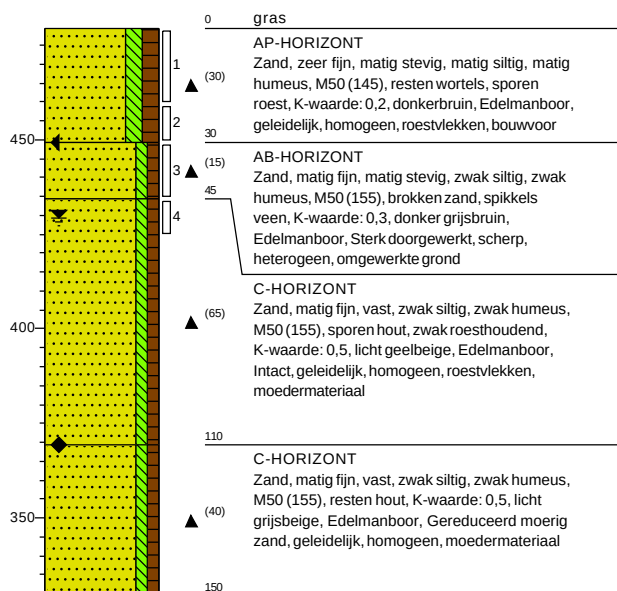
Projectcode: PR-21.182

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Vledder Aa

Boring: 09

X: 212795,28
Y: 543326,66
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,794

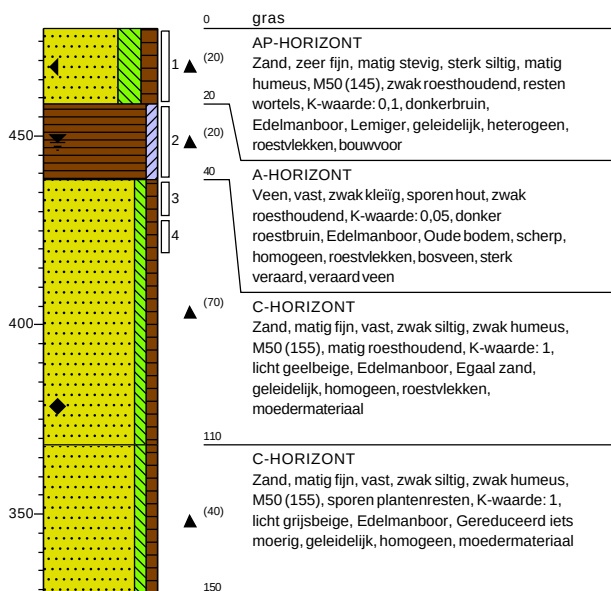
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 10

X: 212687,03
Y: 543299,26
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,785

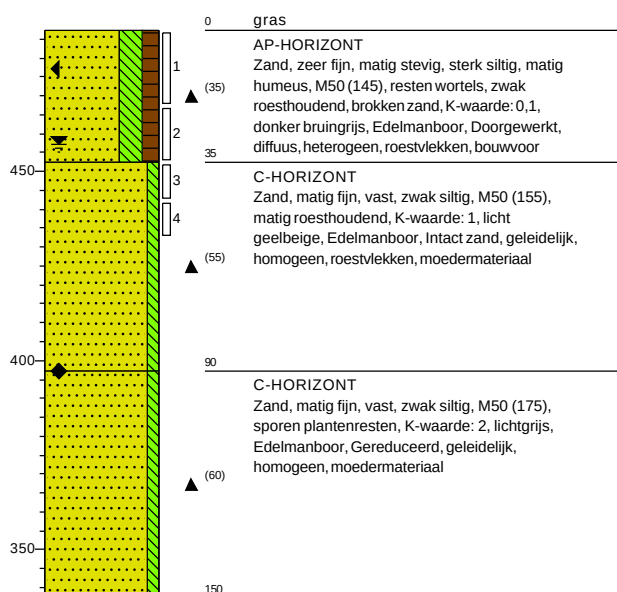
GWS: 30
GHG: 10
GLG: 100



Boring: 11

X: 212551,01
Y: 543310,15
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,873

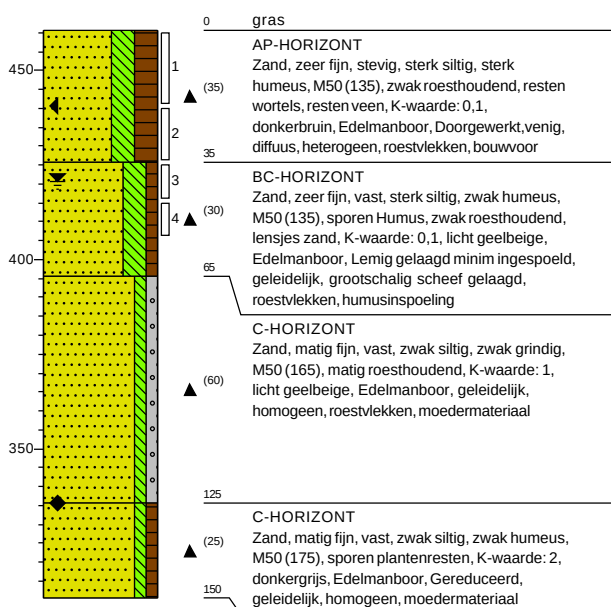
GWS: 30
GHG: 10
GLG: 90



Boring: 12

X: 212656,86
Y: 543103,34
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,607

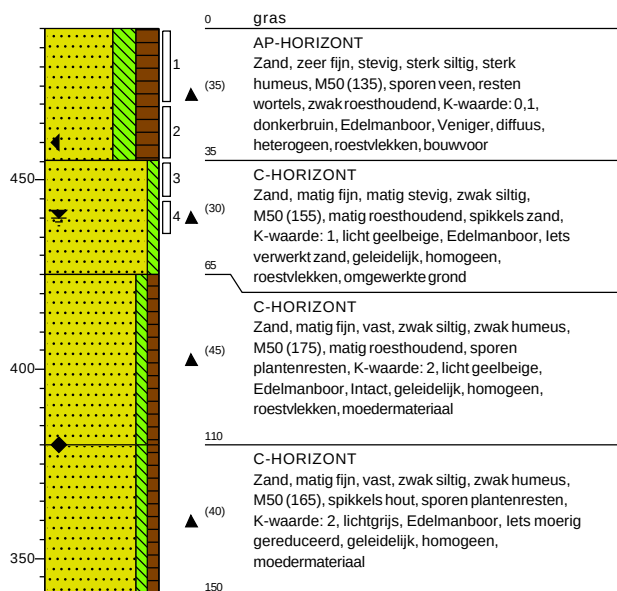
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 125



Boring: 13

X: 212439,16
Y: 543169,32
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,902

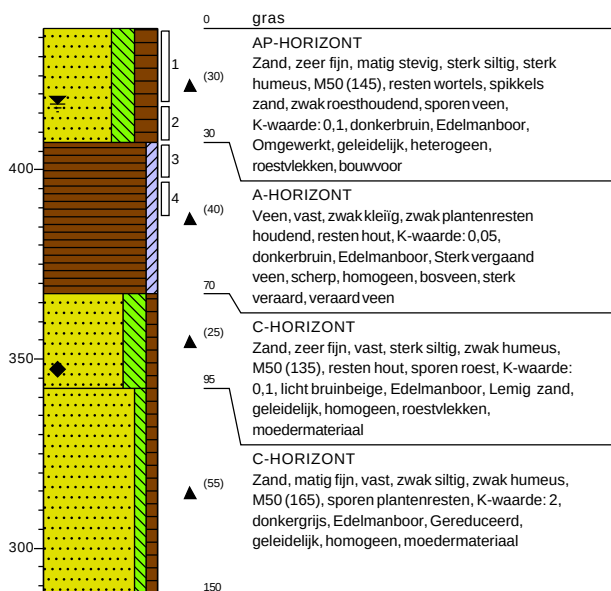
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 14

X: 212523,82
Y: 542984,35
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,374

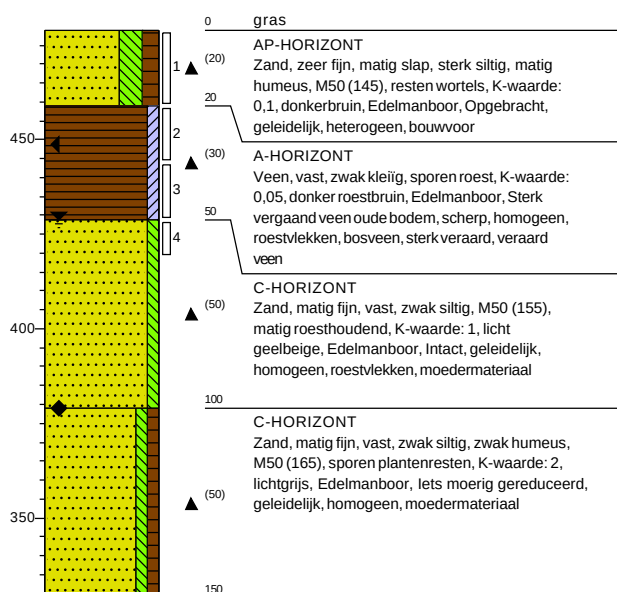
GWS: 20
GHG: 0
GLG: 90



Boring: 15

X: 212325,79
Y: 542976,20
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,79

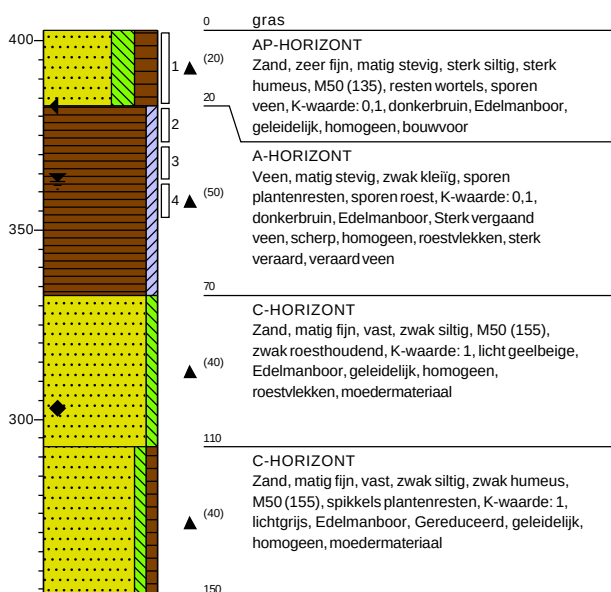
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 100



Boring: 16

X: 212267,17
Y: 542810,61
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,029

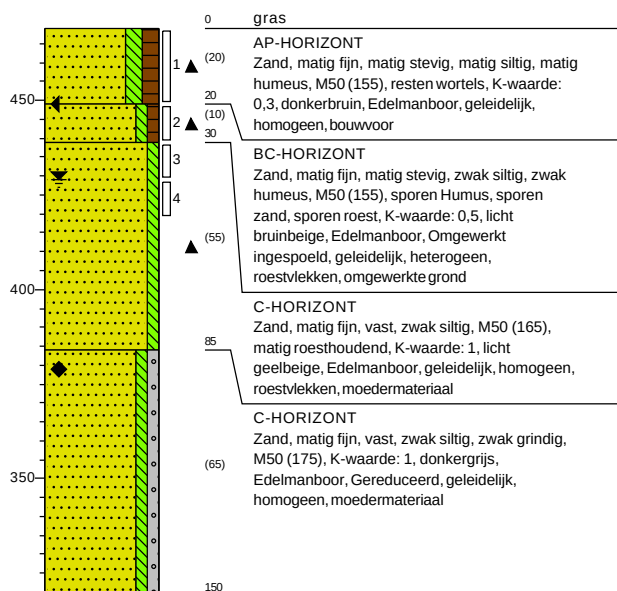
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 17

X: 212064,22
Y: 542844,42
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,69

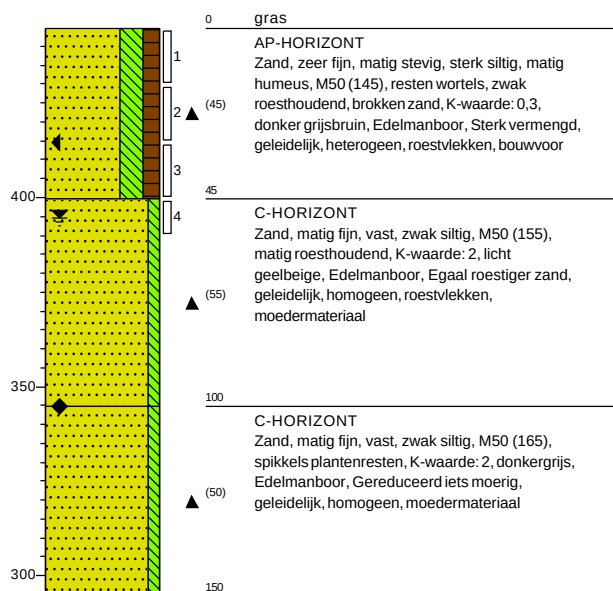
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 18

X: 212072,77
Y: 542650,94
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,447

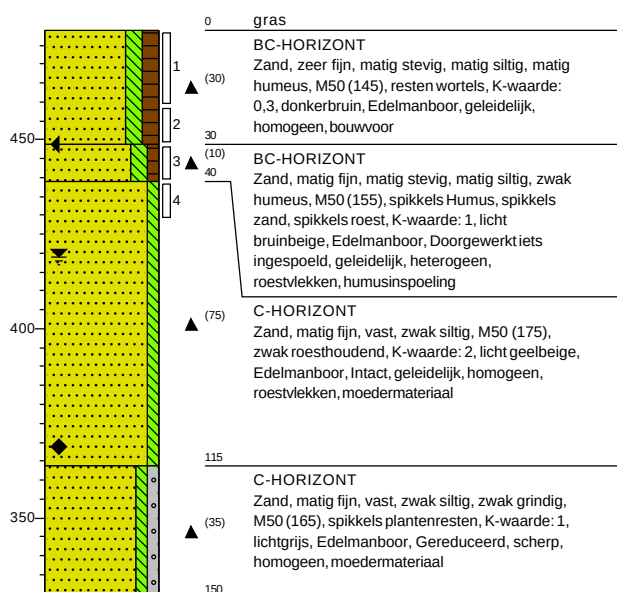
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 100



Boring: 19

X: 211895,47
Y: 542525,05
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,79

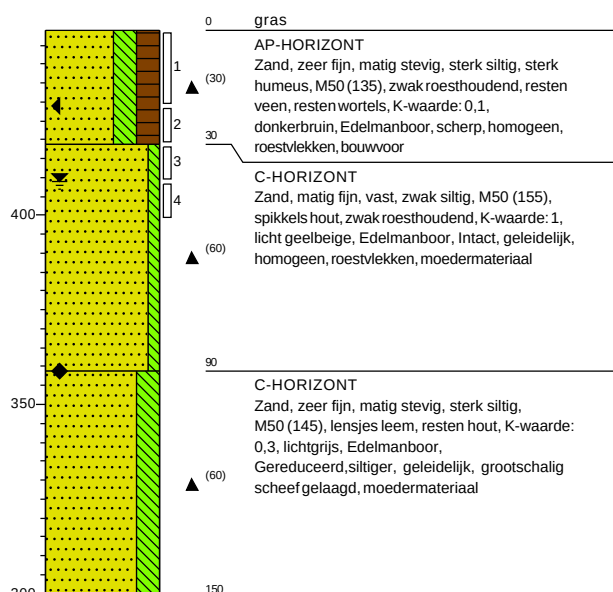
GWS: 60
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 20

X: 211770,10
Y: 542504,09
Datum: 9-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,49

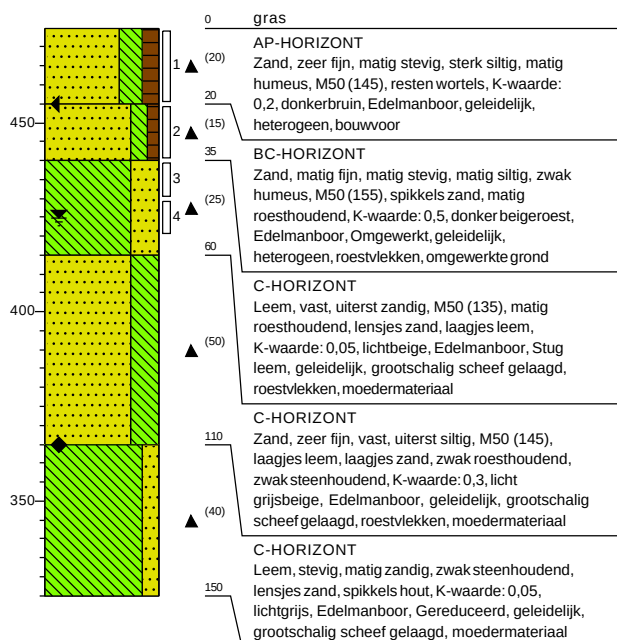
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 21

X: 211611,53
Y: 542501,07
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,749

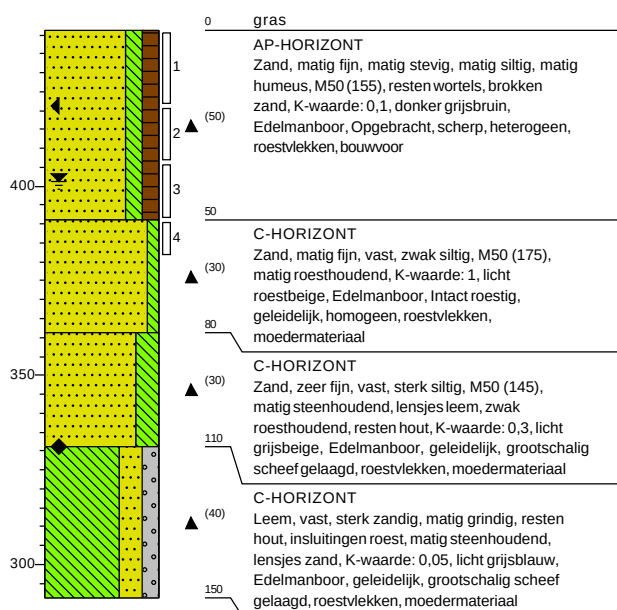
GWS: 50
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 23

X: 211615,25
Y: 542360,30
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,412

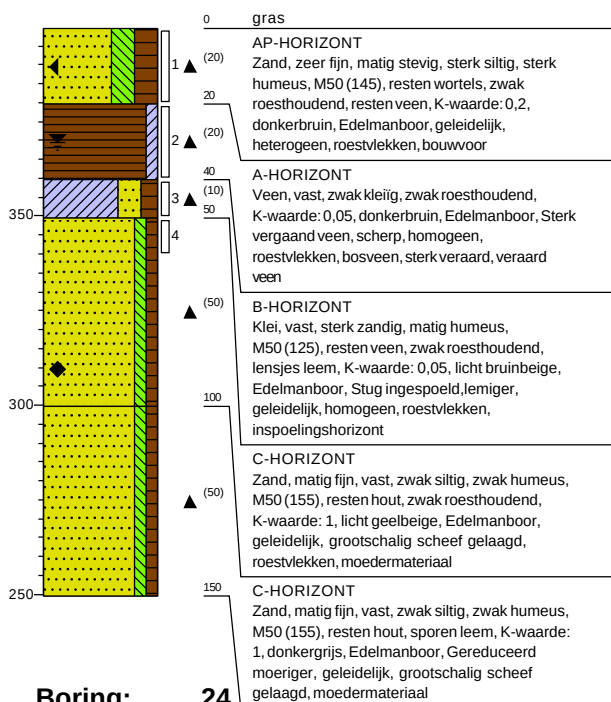
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 22

X: 211837,03
Y: 542338,77
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,996

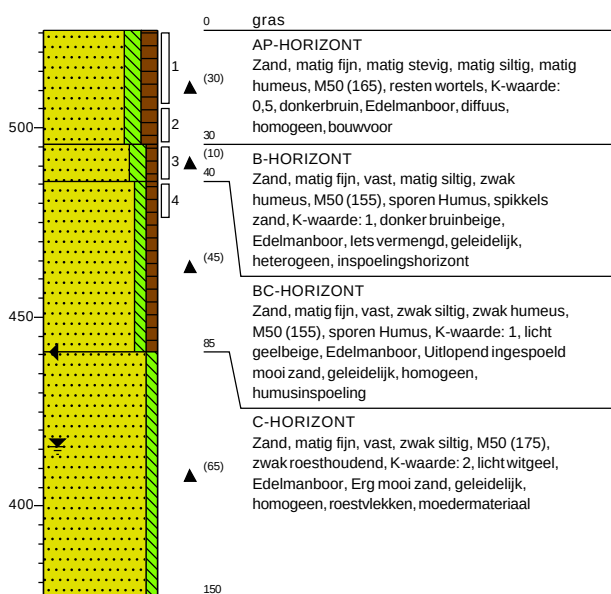
GWS: 30
GHG: 10
GLG: 90



Boring: 24

X: 211450,91
Y: 542200,56
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,259

GWS: 110
GHG: 85



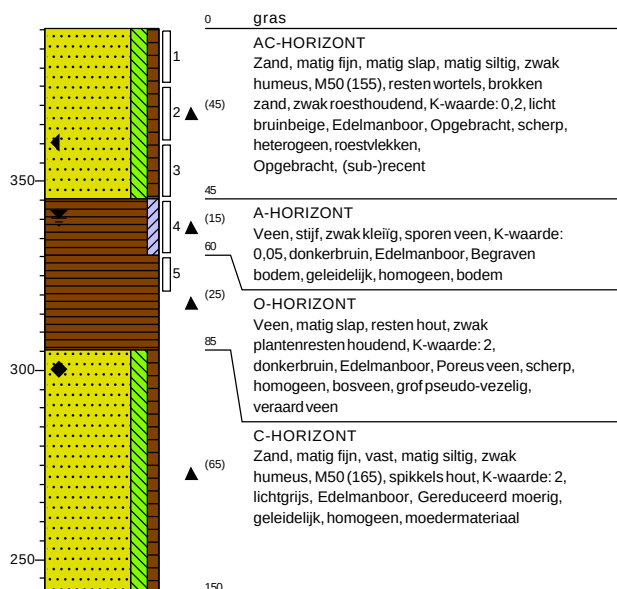
Projectcode: PR-21.182

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Vledder Aa

Boring: 25

X: 211731,99
Y: 542107,61
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,904

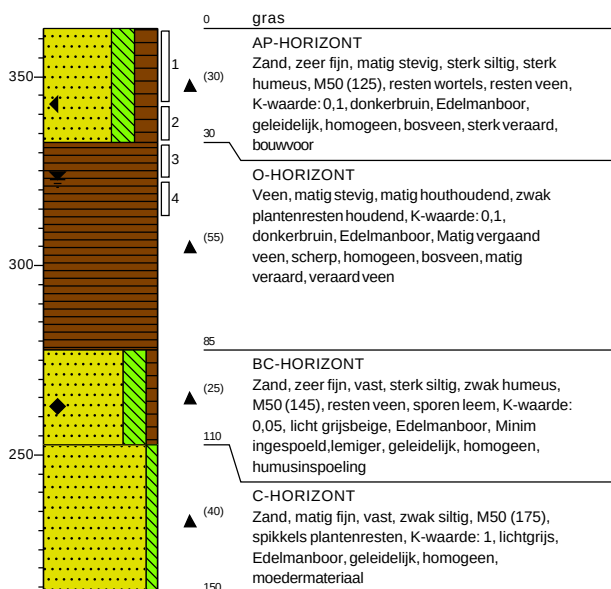
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 90



Boring: 26

X: 211657,72
Y: 541977,95
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,627

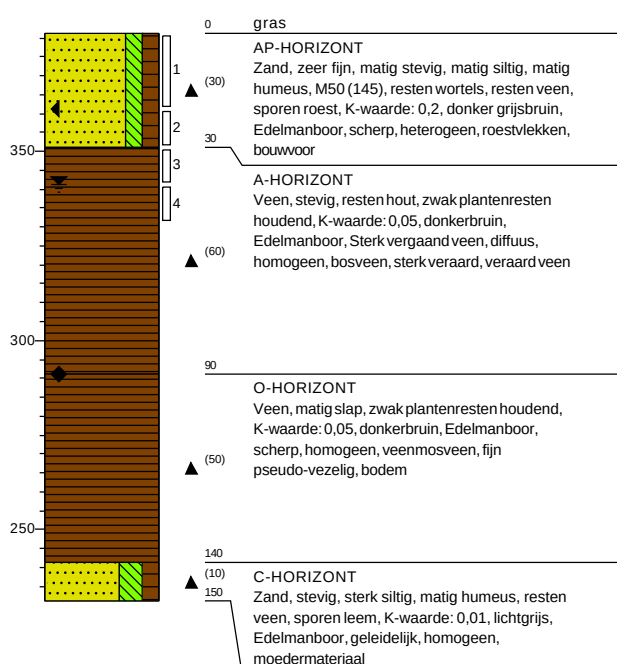
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 27

X: 211487,42
Y: 541997,55
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,812

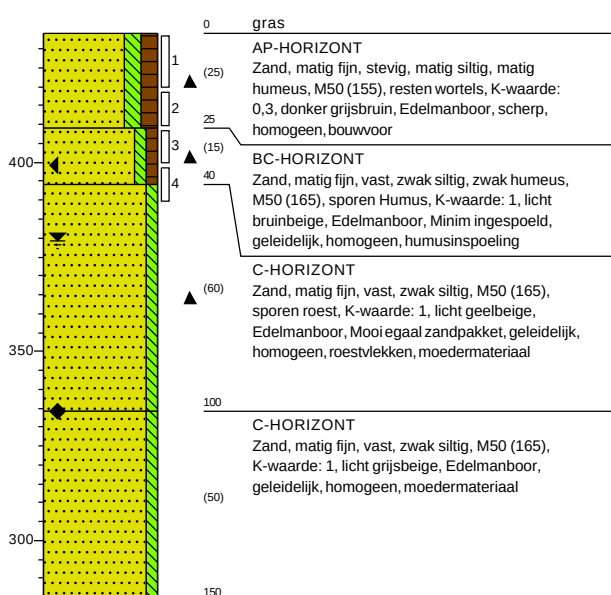
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 28

X: 211472,33
Y: 541856,15
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,341

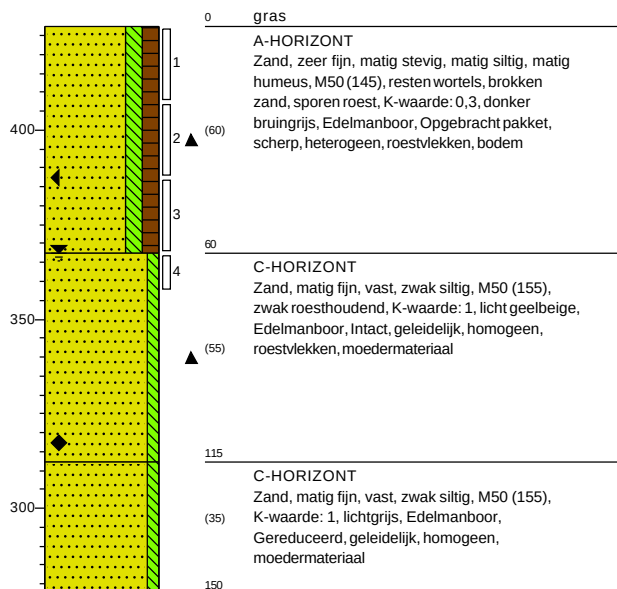
GWS: 55
GHG: 35
GLG: 100



Boring: 29

X: 211327,75
Y: 541837,02
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,274

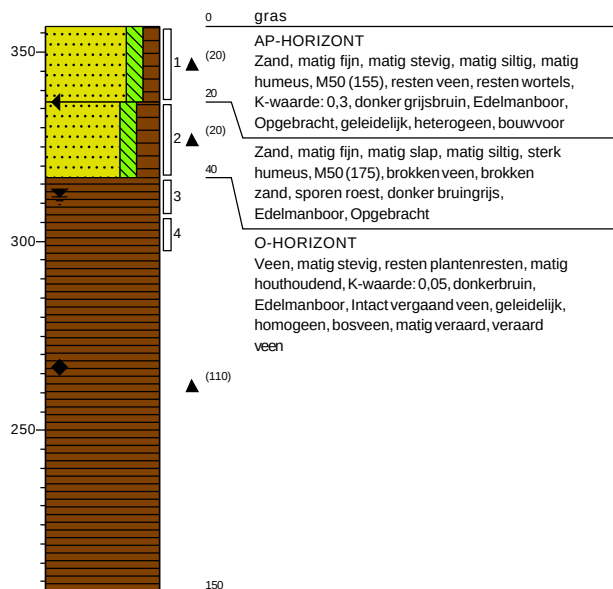
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 110



Boring: 30

X: 211597,82
Y: 541676,96
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,568

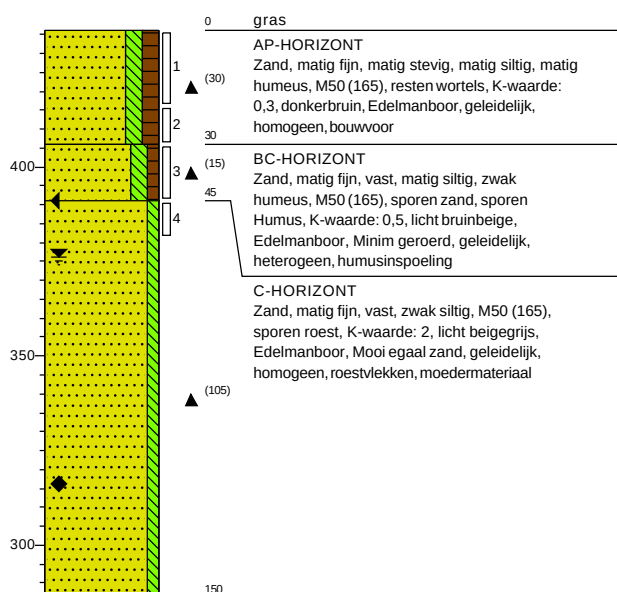
GWS: 45
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 31

X: 211422,56
Y: 541712,45
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,362

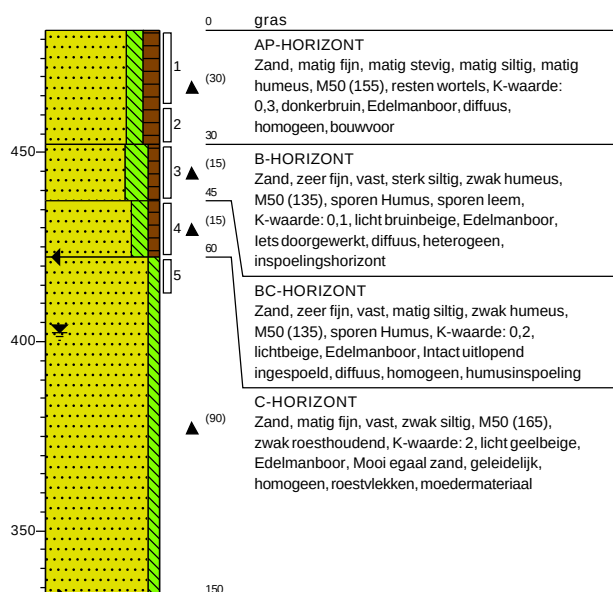
GWS: 60
GHG: 45
GLG: 120



Boring: 32

X: 211270,46
Y: 541659,77
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,824

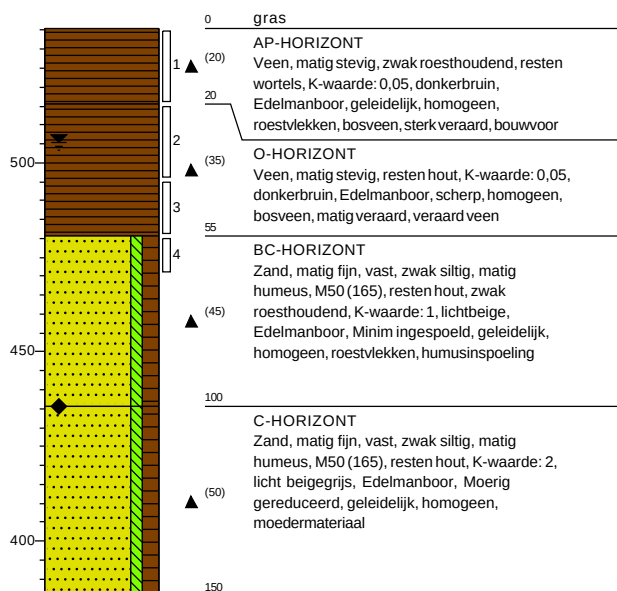
GWS: 80
GHG: 60
GLG: 150



Boring: 33

X: 213362,39
Y: 543810,67
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,355

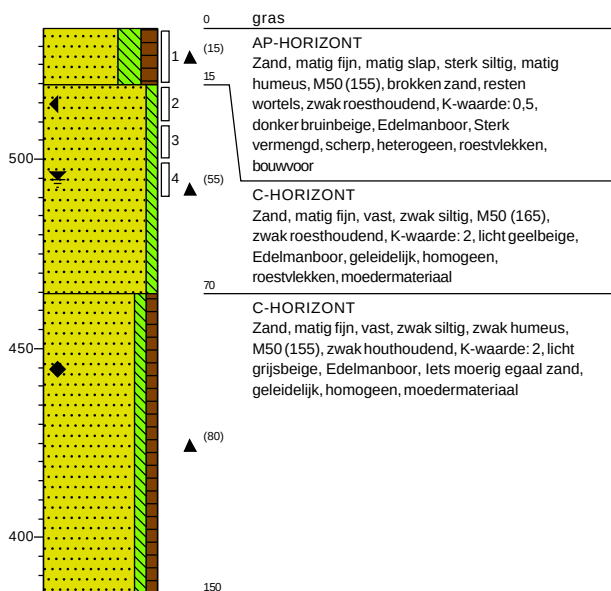
GWS: 30
GHG: 0
GLG: 100



Boring: 34

X: 213237,75
Y: 543667,93
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,346

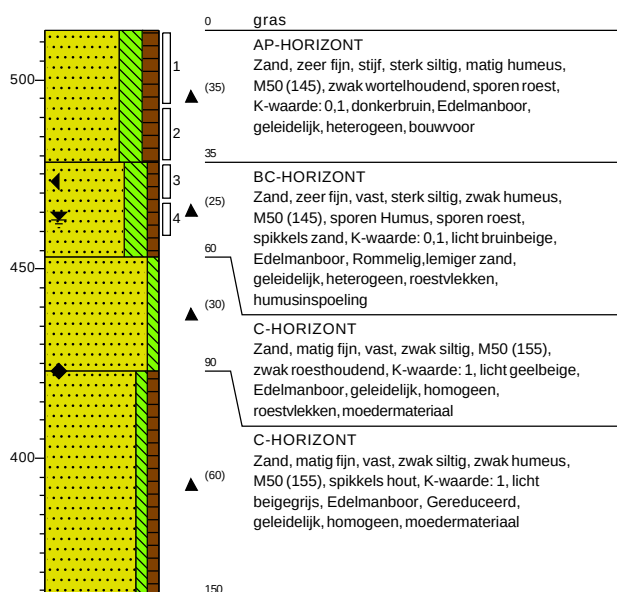
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 35

X: 213062,34
Y: 543497,18
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,131

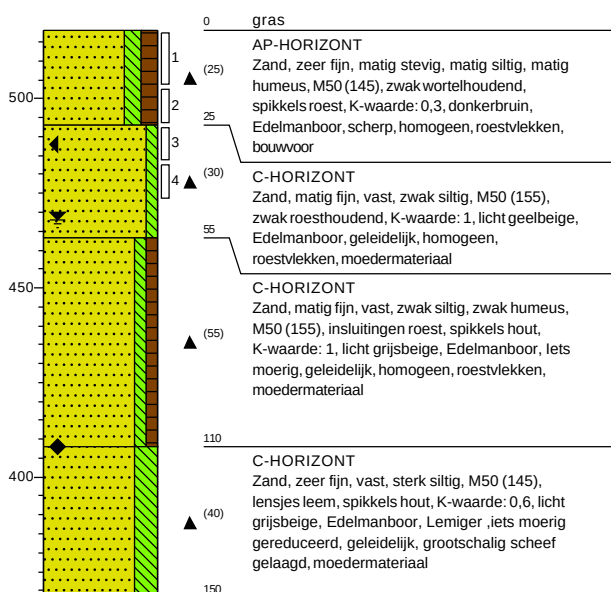
GWS: 50
GHG: 40
GLG: 90



Boring: 36

X: 212958,31
Y: 543278,55
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,181

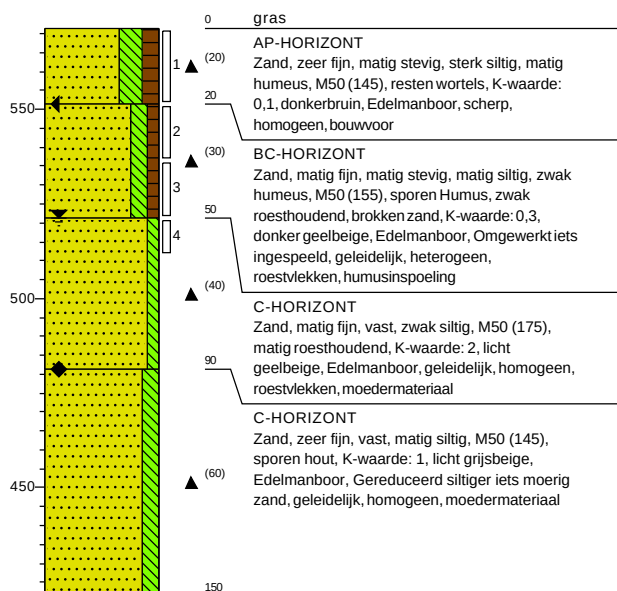
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 37

X: 213506,64
Y: 543714,98
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,714

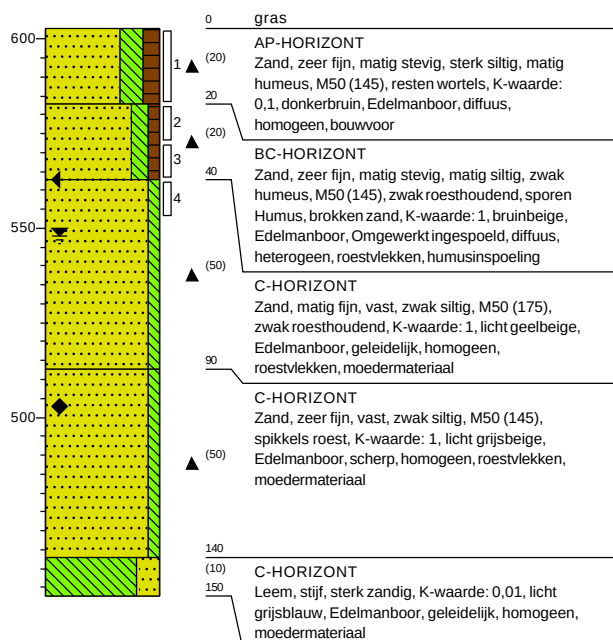
GWS: 50
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 38

X: 213469,78
Y: 543625,16
Datum: 12-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,029

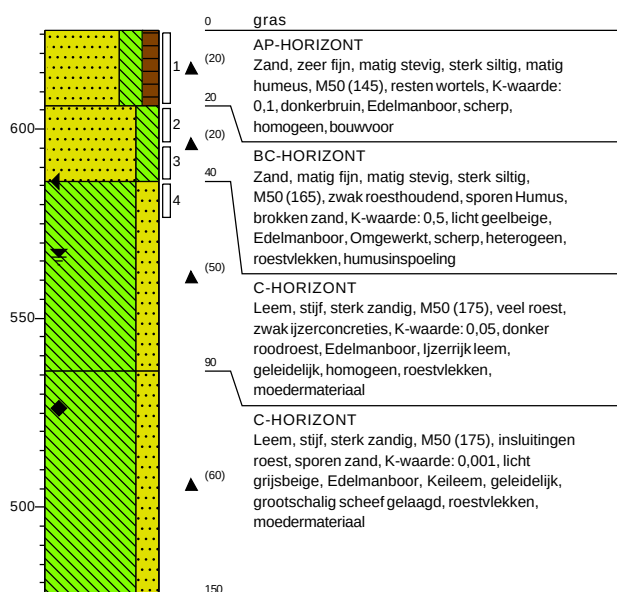
GWS: 55
GHG: 40
GLG: 100



Boring: 39

X: 213614,61
Y: 543507,05
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,261

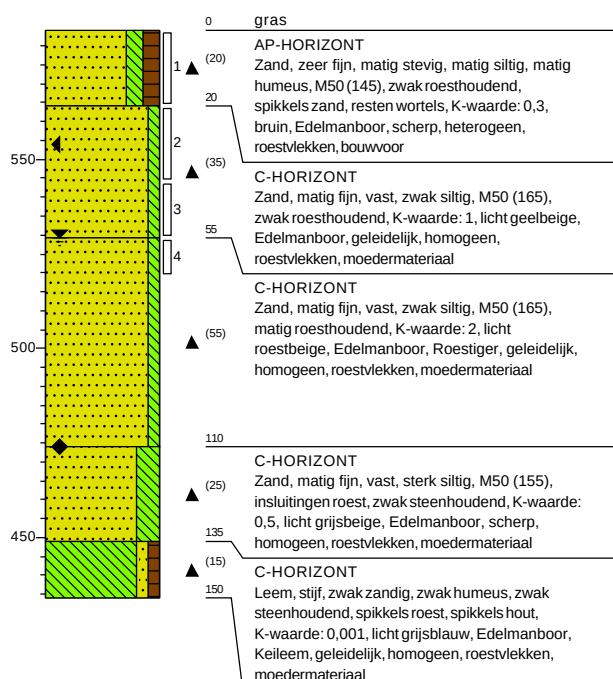
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 100



Boring: 40

X: 213449,61
Y: 543507,36
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,841

GWS: 55
GHG: 30
GLG: 110



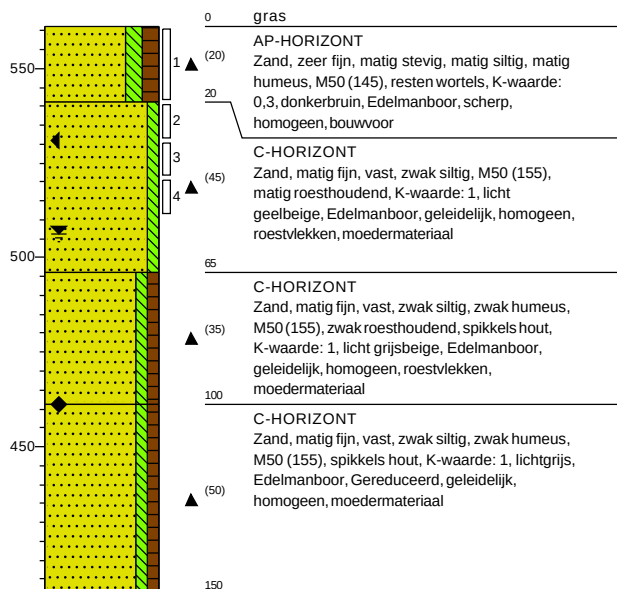
Projectcode: PR-21.182

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Vledder Aa

Boring: 41

X: 213357,97
Y: 543473,13
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,611

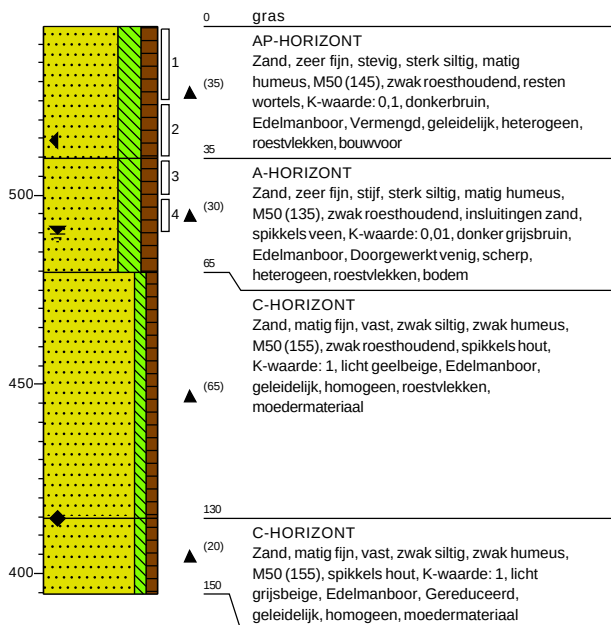
GWS: 55
GHG: 30
GLG: 100



Boring: 42

X: 213211,83
Y: 543441,16
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,446

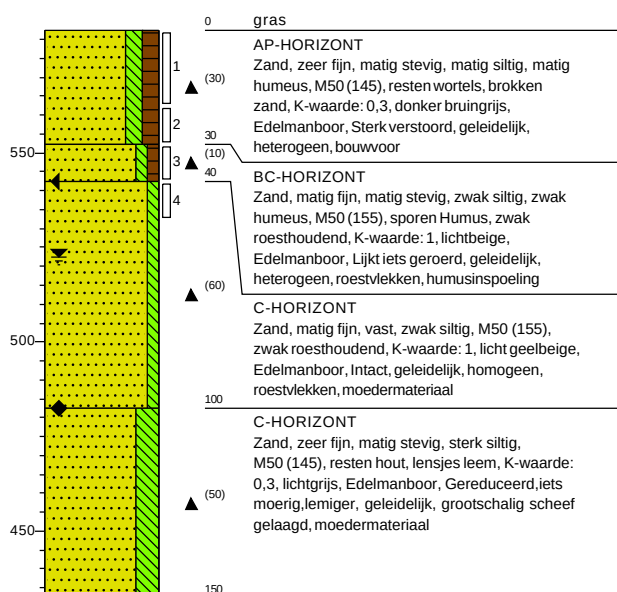
GWS: 55
GHG: 30
GLG: 130



Boring: 43

X: 213410,95
Y: 543269,07
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,825

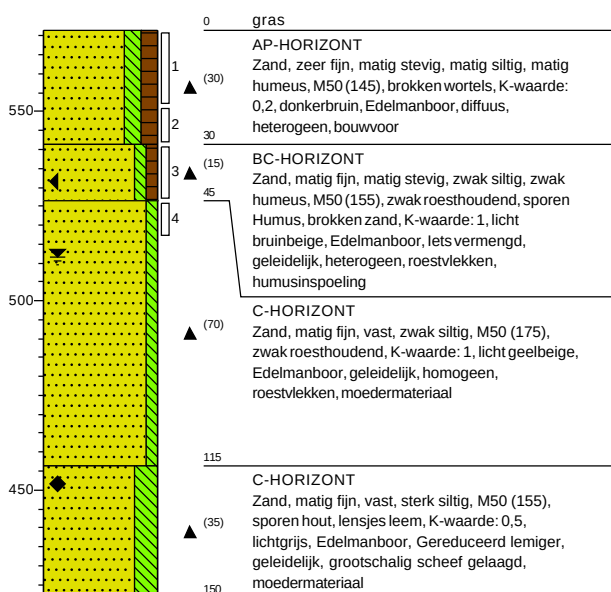
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 100



Boring: 44

X: 213229,91
Y: 543299,62
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,715

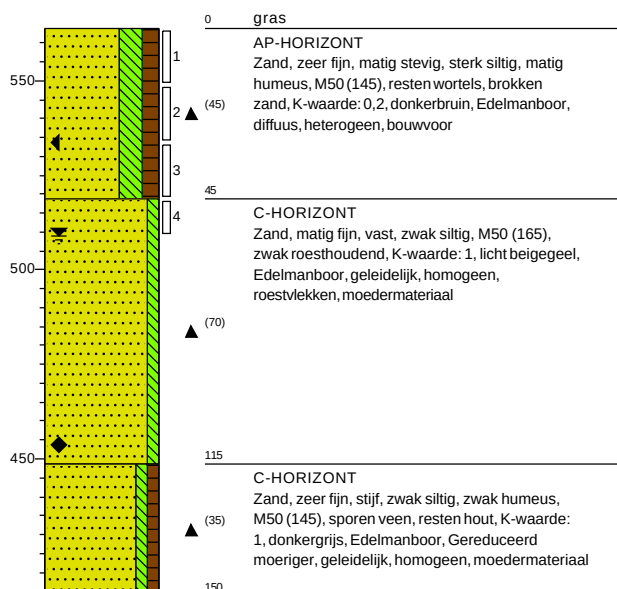
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 120



Boring: 45

X: 213376,61
Y: 543137,18
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,638

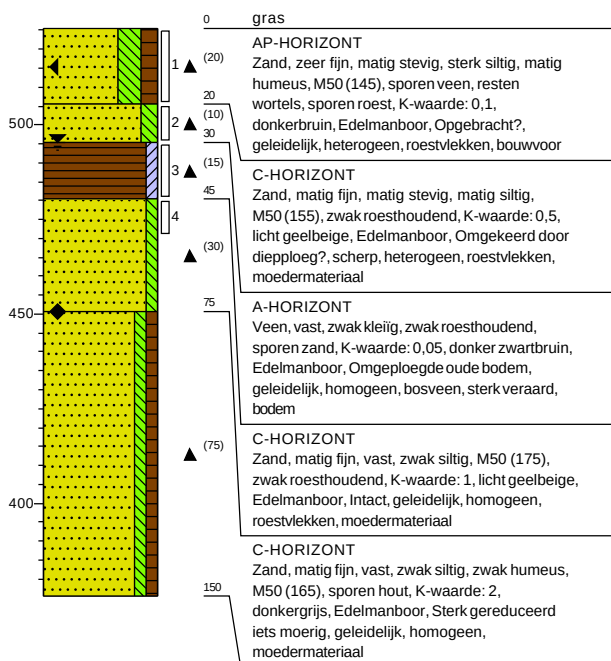
GWS: 55
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 46

X: 213145,56
Y: 543206,75
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,255

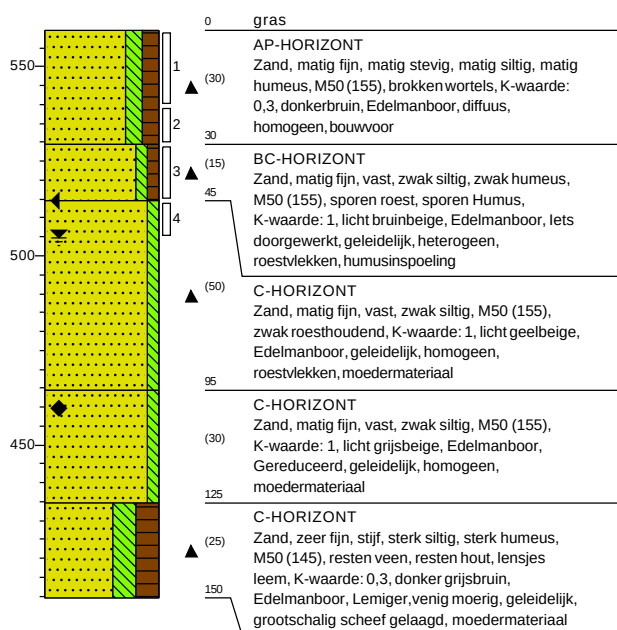
GWS: 30
GHG: 10
GLG: 75



Boring: 47

X: 213190,69
Y: 543022,10
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,596

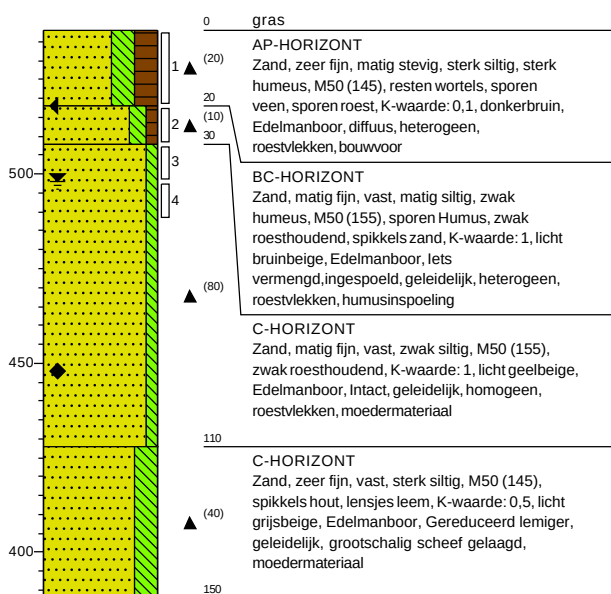
GWS: 55
GHG: 45
GLG: 100



Boring: 48

X: 213010,11
Y: 542950,03
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,38

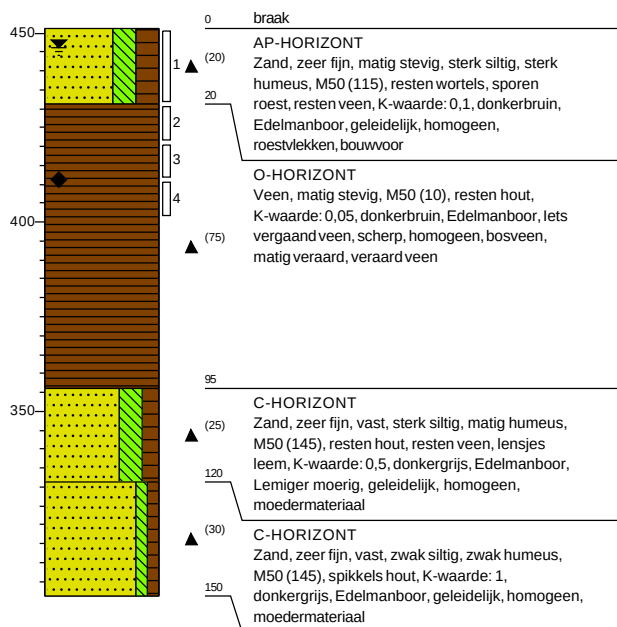
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 49

X: 212880,46
Y: 543188,73
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,512

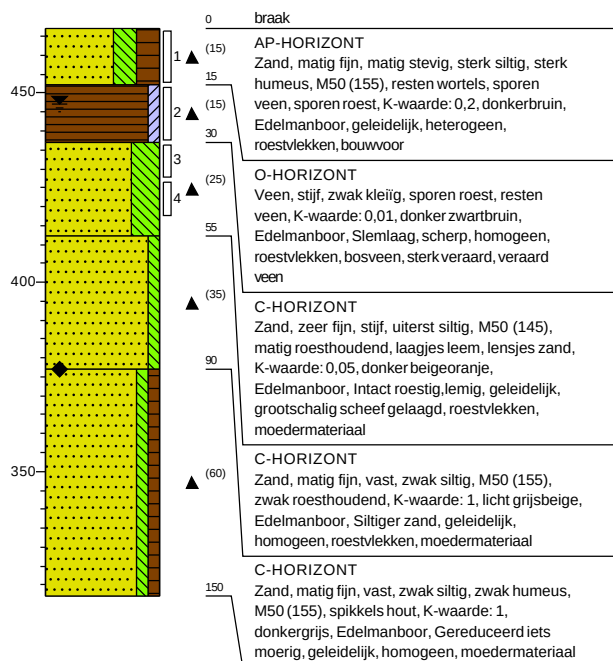
GWS: 5
GHG: 0
GLG: 40



Boring: 50

X: 212790,28
Y: 543052,84
Datum: 13-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,671

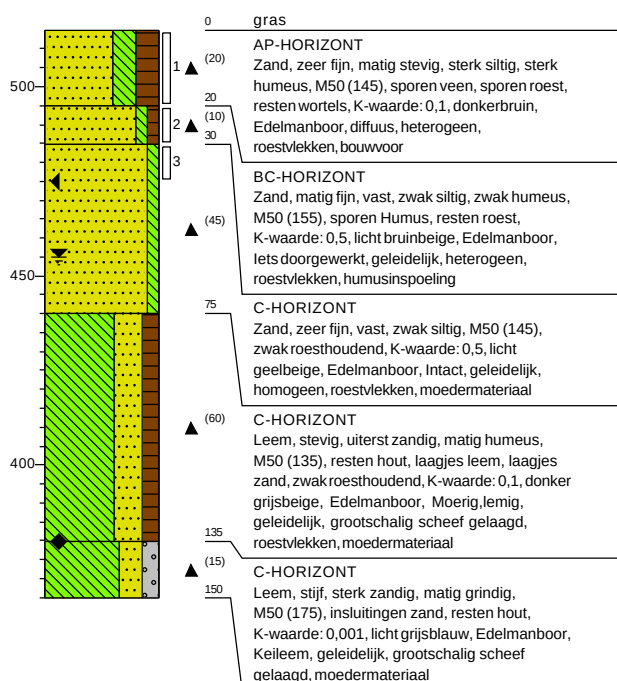
GWS: 20
GHG: 0
GLG: 90



Boring: 51

X: 212838,96
Y: 542892,48
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,149

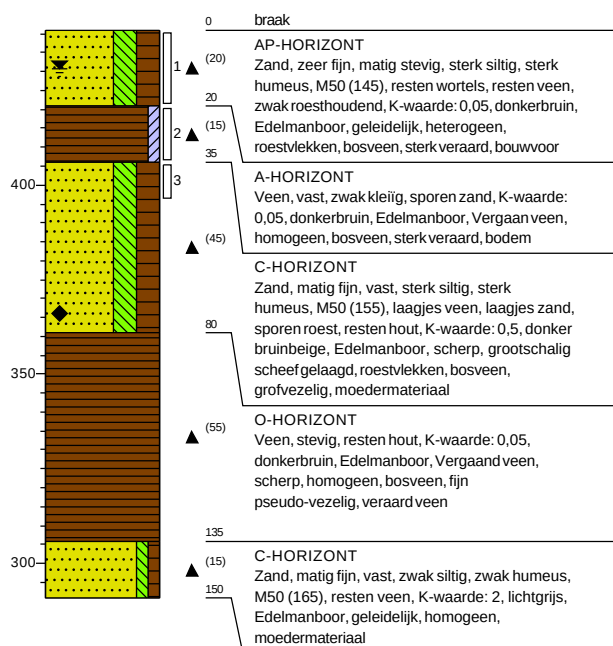
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 135



Boring: 52

X: 212626,48
Y: 542904,38
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,41

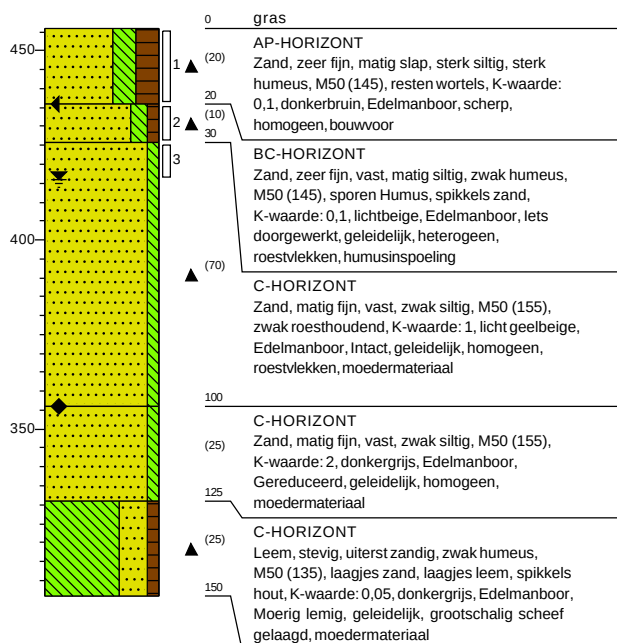
GWS: 10
GHG: 0
GLG: 75



Boring: 53

X: 212557,02
Y: 542751,60
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,56

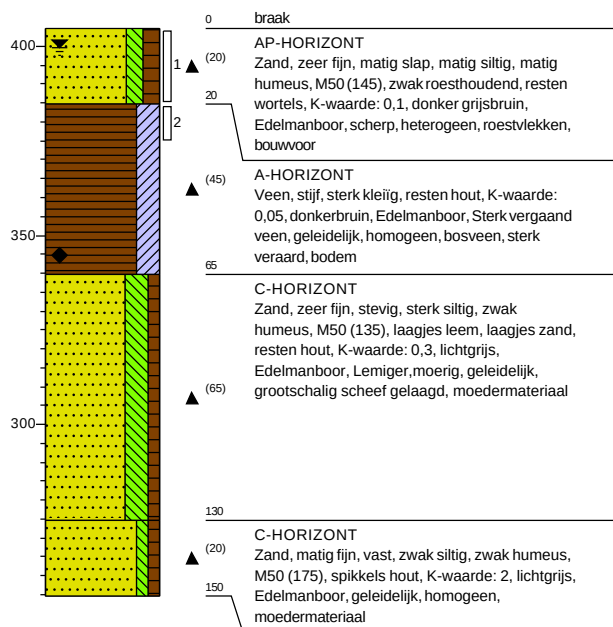
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 100



Boring: 54

X: 212322,28
Y: 542734,35
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,048

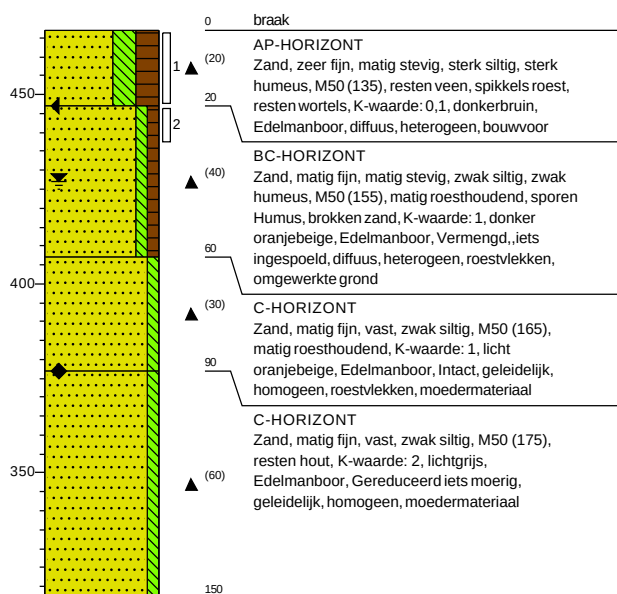
GWS: 5
GHG: 0
GLG: 60



Boring: 55

X: 212431,71
Y: 542639,75
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,67

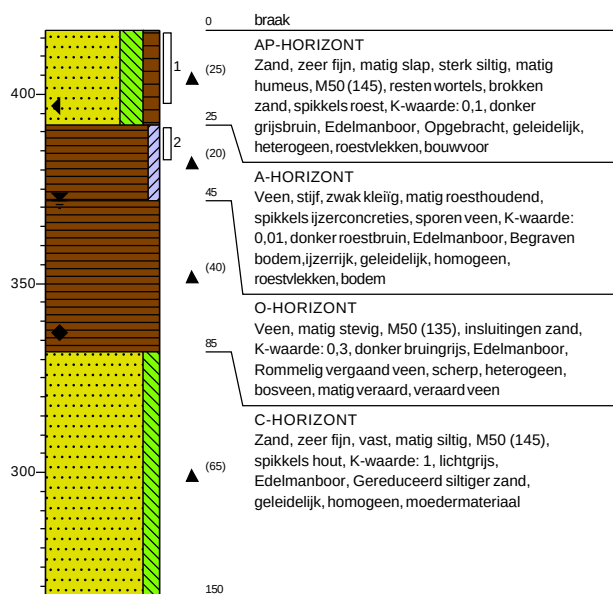
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 90



Boring: 56

X: 212179,20
Y: 542578,80
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,169

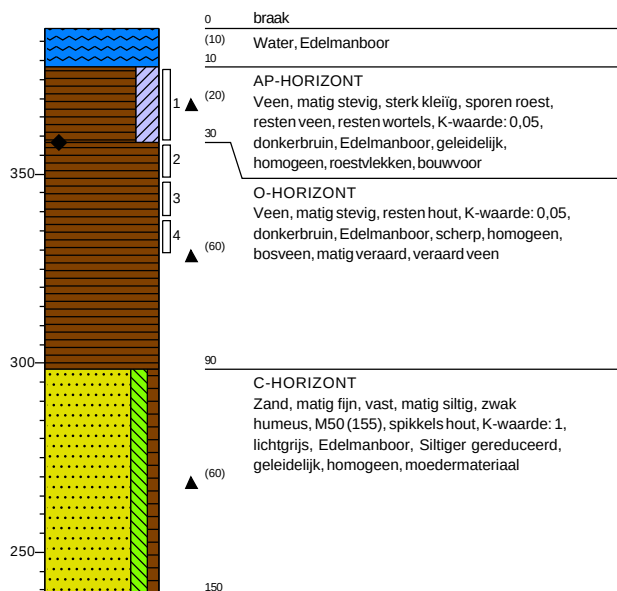
GWS: 45
GHG: 20
GLG: 80



Boring: 57

X: 212146,13
Y: 542379,99
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,886

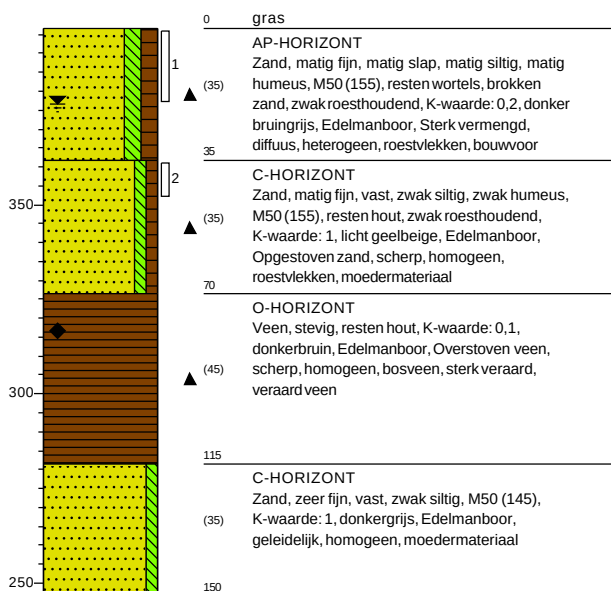
GWS: 0
GHG: 0
GLG: 30



Boring: 58

X: 212005,65
Y: 542296,00
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,966

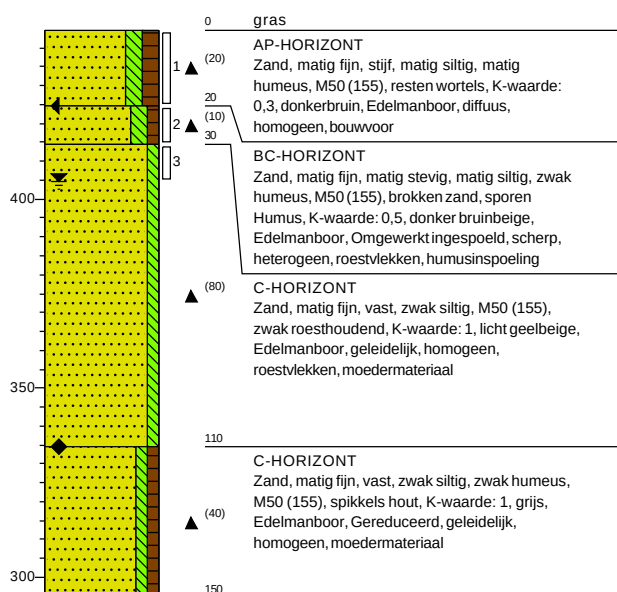
GWS: 20
GHG: 0
GLG: 80



Boring: 59

X: 212054,13
Y: 542167,86
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,446

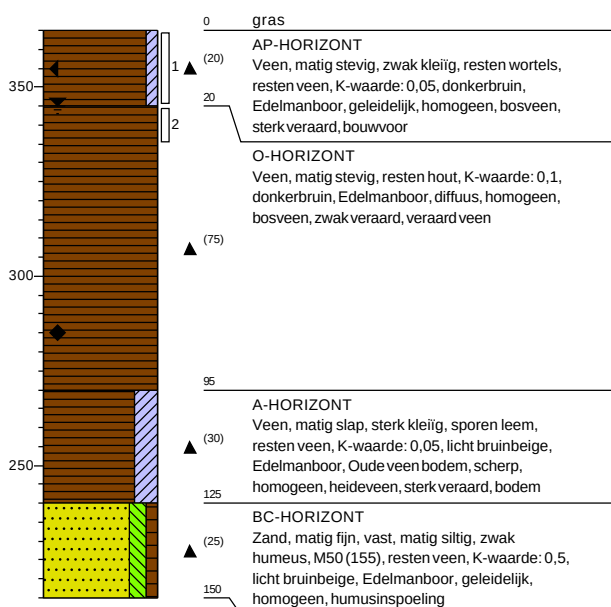
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 60

X: 211884,07
Y: 542148,04
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,65

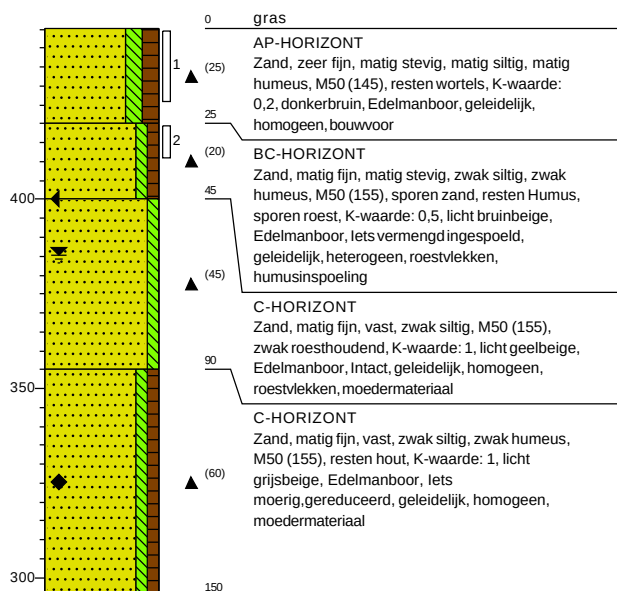
GWS: 20
GHG: 10
GLG: 80



Boring: 61

X: 211900,30
Y: 541975,38
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,452

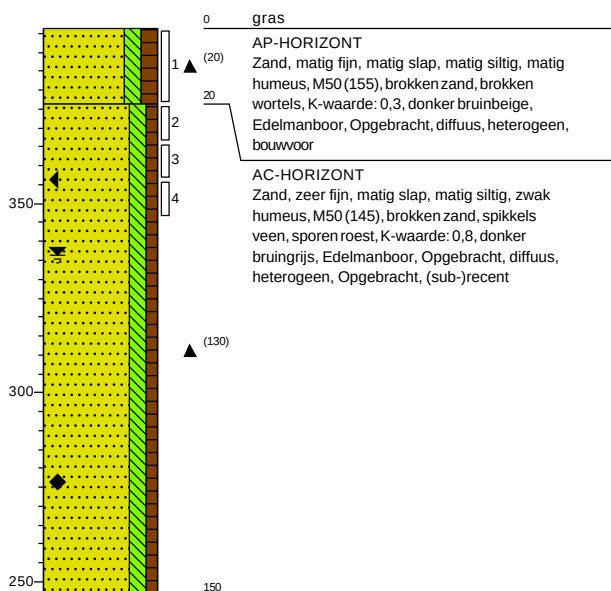
GWS: 60
GHG: 45
GLG: 120



Boring: 62

X: 211718,88
Y: 541700,05
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 3,964

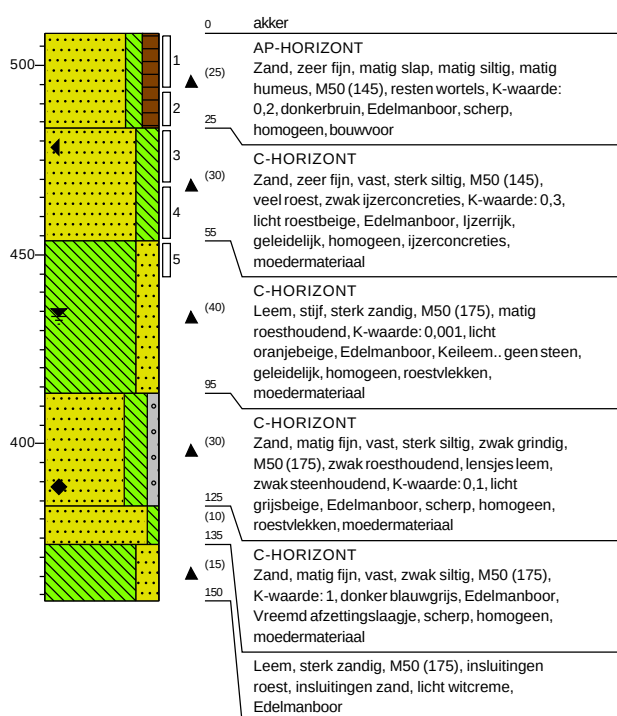
GWS: 60
GHG: 40
GLG: 120
Opmerking: Herplaats



Boring: 101

X: 211870,89
Y: 542832,37
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,086

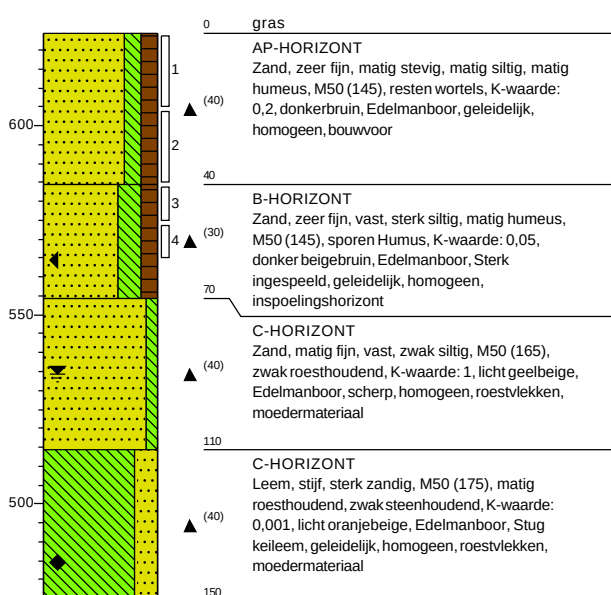
GWS: 75
GHG: 30
GLG: 120



Boring: 102

X: 211295,11
Y: 543070,96
Datum: 10-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,245

GWS: 90
GHG: 60
GLG: 140



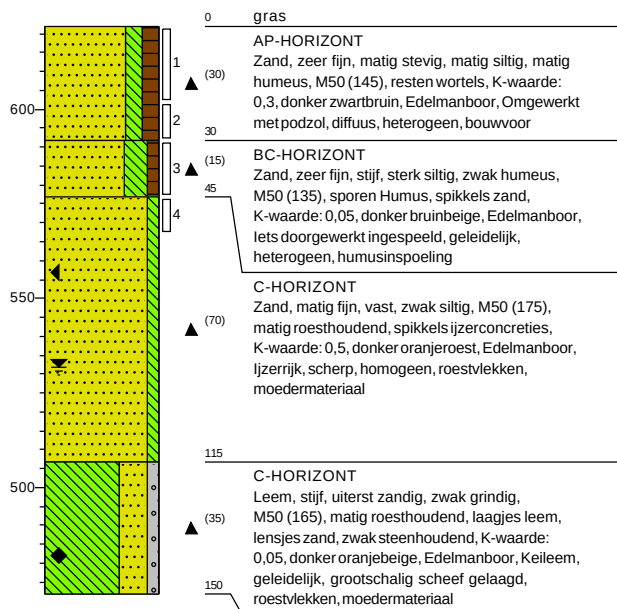
Projectcode: PR-21.182

Projectnaam: Bodemchemisch onderzoek Vledder Aa

Boring: 103

X: 211443,69
Y: 543156,32
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,22

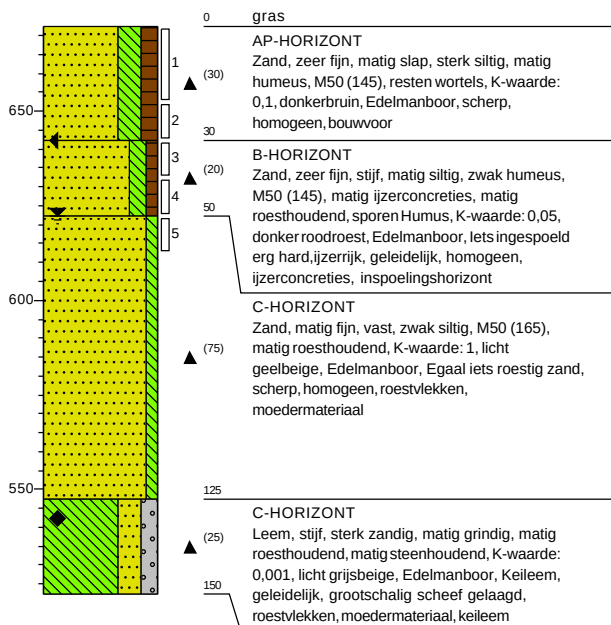
GWS: 90
GHG: 65
GLG: 140



Boring: 104

X: 211414,55
Y: 543270,84
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,725

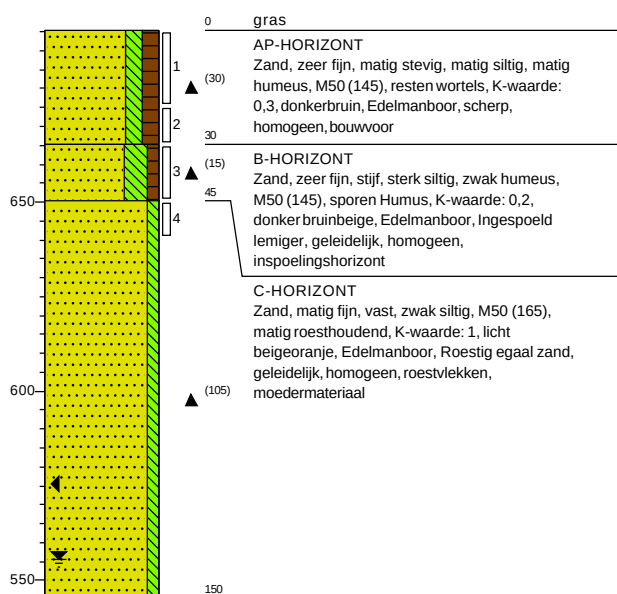
GWS: 50
GHG: 30
GLG: 130



Boring: 105

X: 211588,02
Y: 543368,08
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 6,955

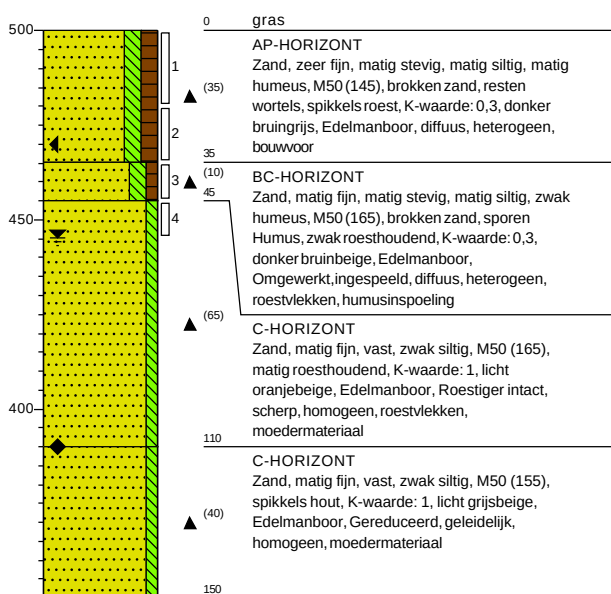
GWS: 140
GHG: 120



Boring: 106

X: 212128,49
Y: 542952,92
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,002

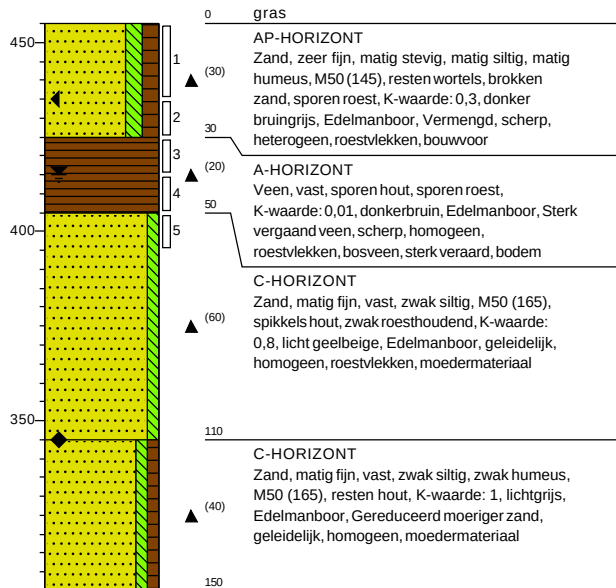
GWS: 55
GHG: 30
GLG: 110



Boring: 107

X: 212234,53
Y: 543045,61
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,55

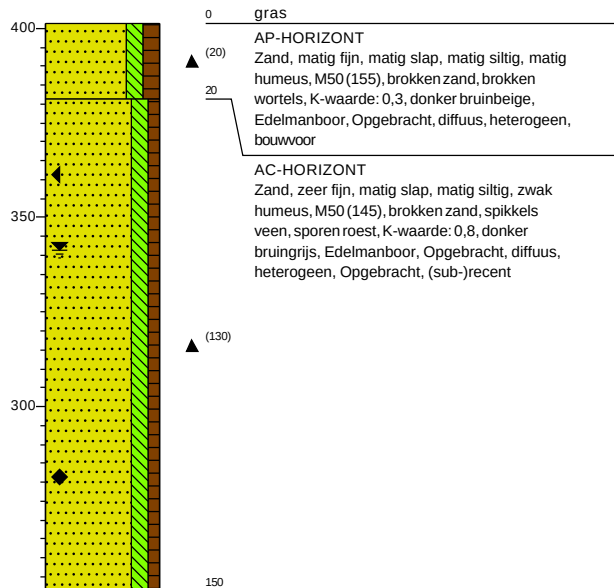
GWS: 40
GHG: 20
GLG: 110



Boring: 62x

X: 211720,17
Y: 541698,84
Datum: 14-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,013

GWS: 60
GHG: 40
GLG: 120
Opmerking: Herplaatsivm verstorring ldem als origineel



Boring: Vledder a instroom

X: 213688,98
Y: 544614,21
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 5,292

0 waterspiegel

Boring: WL midden

X: 213410,11
Y: 543745,57
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P.: 4,164

0 waterspiegel

Boring:

X: 213399,07
Y: 543493,13
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P. : 4,419

Sloot kwel

0 waterspiegel

Boring:

X: 213201,04
Y: 542881,52
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P. : 5,484

WL oost voor stuw

0 waterspiegel

Boring:

X: 213197,67
Y: 542887,93
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P. : 4,3

WI oost na stuw

0 waterspiegel

Boring:

X: 211666,27
Y: 541640,72
Datum: 15-12-2021
Boormeester: Jan Vermeer
N.A.P. : 2,846

Vledder a uitstroom

0 waterspiegel