ONDERZOEKCENTRUM

BIOGEOCHEMICAL WATER-MANAGEMENT & APPLIED RESEARCH ON ECOSYSTEMS

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK HAGENBEEK 2022

- Eindrapportage -

Opdrachtgever: Aveco de Bondt • Auteur: Hilde Tomassen • Projectnummer: PR-22.063 • Rapportnummer: RP-22.063.22.65 • Datum: 16 februari 2023

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK HAGENBEEK 2022

Eindrapportage

Hilde Tomassen

Titel rapport:
Bodemchemisch onderzoek Hagenbeek, eindrapportage

Auteur:
Hilde Tomassen

Rapportnummer:
RP-22.063.22.65

Opdrachtgever:
Aveco de Bondt

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

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

© Onderzoekcentrum B-WARE, 2023.

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding 1

1.1 Aanleiding 1

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek 1

1.3 Leeswijzer 2

2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond 3

2.1 Nutriëntenlimitatie 3

2.2 Fosfaatbeschikbaarheid 3

2.3 Verschralingsmaatregelen 4

2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen 6

3. Materiaal en methoden 7

3.1 Veldwerkzaamheden 7

3.2 Chemische analyse 7

4. Resultaten bodemchemisch onderzoek 11

4.1 Inleiding 11

4.2 Abiotische streefconcentraties natuurtypen 11

4.3 Kansen voor natuurontwikkeling 14

4.4 Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling 17

4.5 Aanvullende maatregelen 18

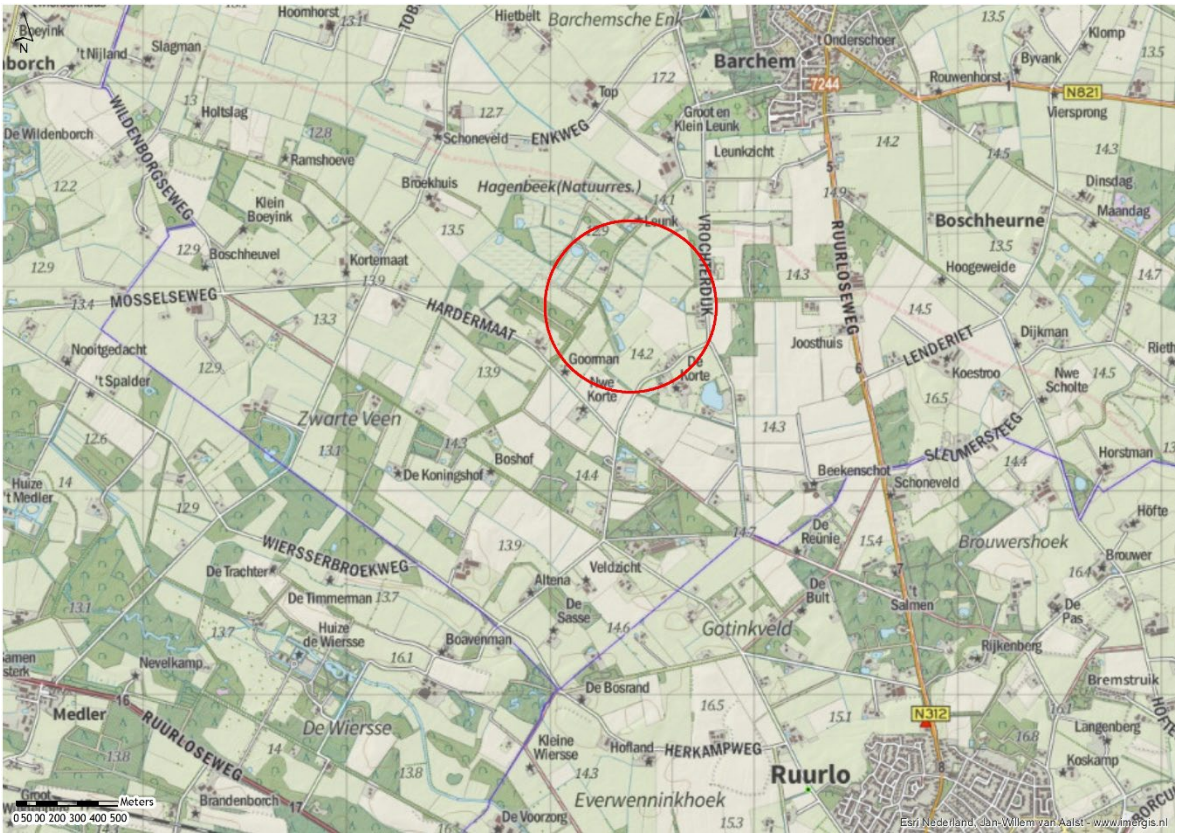
5. Literatuur 21

6. Bijlagen 23

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Het natuurgebied Hagenbeek, in beheer bij Staatsbosbeheer, is in 2008 ingericht tot een forse eenheid (ca. 50 ha) natte schraallanden. In de afgelopen jaren is in totaal 12 hectare voormalige landbouwgrond extra beschikbaar gekomen voor de ontwikkeling van nieuwe natuur. De natuurpotenties van een groot aantal van deze percelen werd in 2019 al in beeld gebracht (Visscher & Tomassen, 2019). Na verschraling van de bodem liggen op deze percelen, afhankelijk van de mate van buffering van de bodem, kansen voor de ontwikkeling van heide, heischraal grasland, blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Visscher & Tomassen, 2019). Van een aantal percelen zijn de potenties voor natuurontwikkeling nog niet bekend en daarvoor is een aanvullend bodemchemisch onderzoek uitgevoerd.



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

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek

Op 4 locaties in het gebied zijn op verschillende diepten bodemmonsters verzameld en chemisch geanalyseerd. Op basis van de bodemchemische onderzoeksresultaten is in deze rapportage aangegeven op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor soortenrijke (natte) natuurtypen gerealiseerd kan worden en welke verschralingsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.

Op basis van het onderzoek worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

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

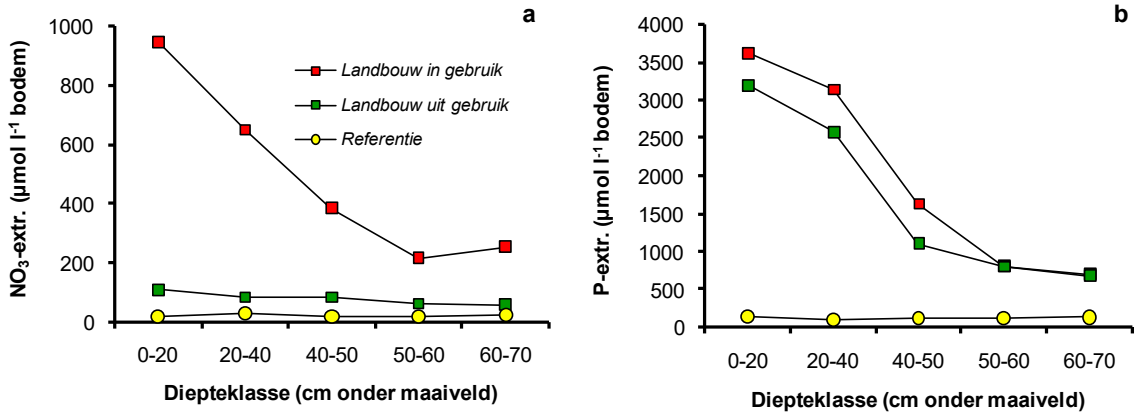
1.3 Leeswijzer

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

2. NATUURONTWIKKELING OP VOORMALIGE LANDBOUWGROND

2.1 Nutriëntenlimitatie

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

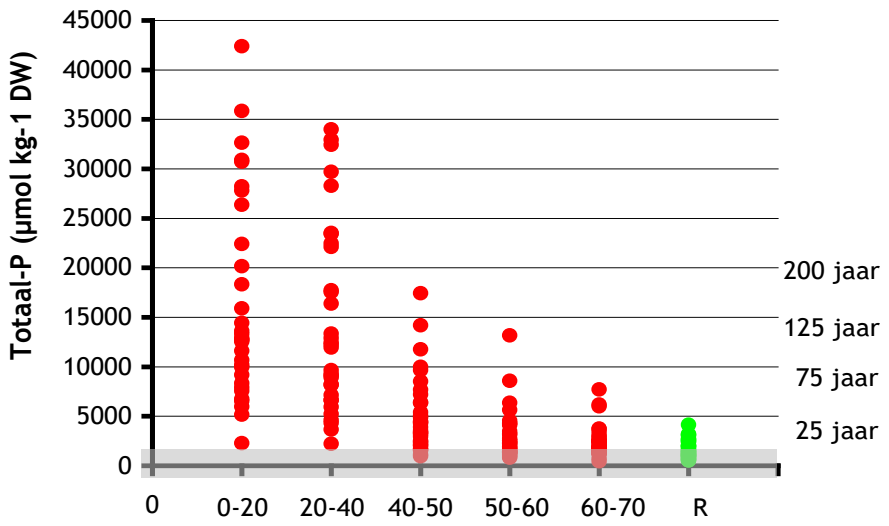


Figuur 2. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld) in de bodem van percelen in landbouwkundig gebruik, van percelen die sinds 5-10 jaar niet meer in landbouwkundig gebruik zijn en van natuurgebieden (referentie). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de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

2.2 Fosfaatbeschikbaarheid

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

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



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

2.3 Verschralingsmaatregelen

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).

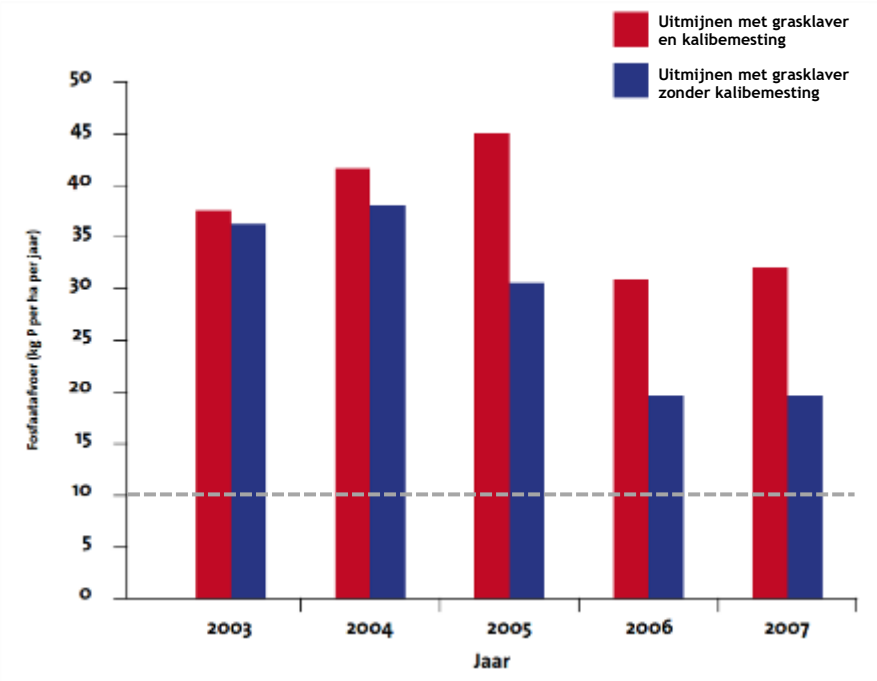
Intensief beheer met maaien en afvoeren

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

. . . . . .

Uitmijnen

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



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

Ontgronden

Bij ontgronden (toplaagverwijdering/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 ontgronding kan een snelle verschraling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen de afstand tot het grondwater verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren (van Mullekom e.a., 2007; 2013). Potentiële nadelen van ontgronden zijn een aantasting van de geomorfologie van het gebied en dat de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld te hoog kunnen worden. Andere

nadelen van ontgronden die vaak genoemd worden zijn het verlies van bodemleven en de nog aanwezige zaadbank. In de toplaag van de bodem van intensief bemeste landbouwgronden is het bodemleven vaak sterk verstoord (zie o.a. Tsiafouli e.a., 2015; Bobbink e.a., 2016) en is geen vitale zaadbank van de oorspronkelijke vegetatie meer aanwezig (zie paragraaf 2.4), zodat deze verliezen over het algemeen beperkt zijn. Bij onvolledige ontgronding van de fosfaatrijke toplaag (zeker in combinatie met vernatting) kan alsnog verrijking met nutriënten plaatsvinden.

2.4 Aanvullende (beheer)maatregelen

Na het verwijderen van de P-verrijkte toplaag is het vaak nodig om nog een aantal jaren aanvullend 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). Wanneer plagsel wordt gebruikt voor herintroductie worden tevens mycorrhiza's (schimmels die planten helpen bij de opname van voedingsstoffen op voedselarme gronden) van de doelsoorten en andere essentiële bodem micro-organismen in het gebied geïntroduceerd (Bobbink e.a., 2016). Zonder introductie van doelsoorten is de kans op vestiging van deze soorten te verwaarlozen indien er geen bronpopulaties in de nabije omgeving aanwezig zijn (Klimkowska e.a., 2007).

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

3. MATERIAAL EN METHODEN

3.1 Veldwerkzaamheden

Op 3 juni 2022 werden voor het bodemchemisch onderzoek op 4 locaties ondiepe boringen (tot 150 cm onder maaiveld) gezet. De locaties werden geselecteerd op basis van o.a. variatie in huidige/actuele perceelgrenzen, hoogteligging en bodemtype. Voor de exacte ligging van de boorlocaties zie Figuur 5. De boringen werden verricht met een Edelmanboor en de exacte boorlocaties werden ingemeten met een GPS (zie Tabel 1). Het bodemprofiel werd beschreven conform NEN 5104 (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel ook de GHG en GLG (Tabel 1).

Op iedere locatie werden bodemmonsters verzameld volgens de volgende bemonsteringsstrategie:

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

De bodemmonsters werden in afgesloten potten vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In totaal werden 18 bodemmonsters verzameld en geanalyseerd.

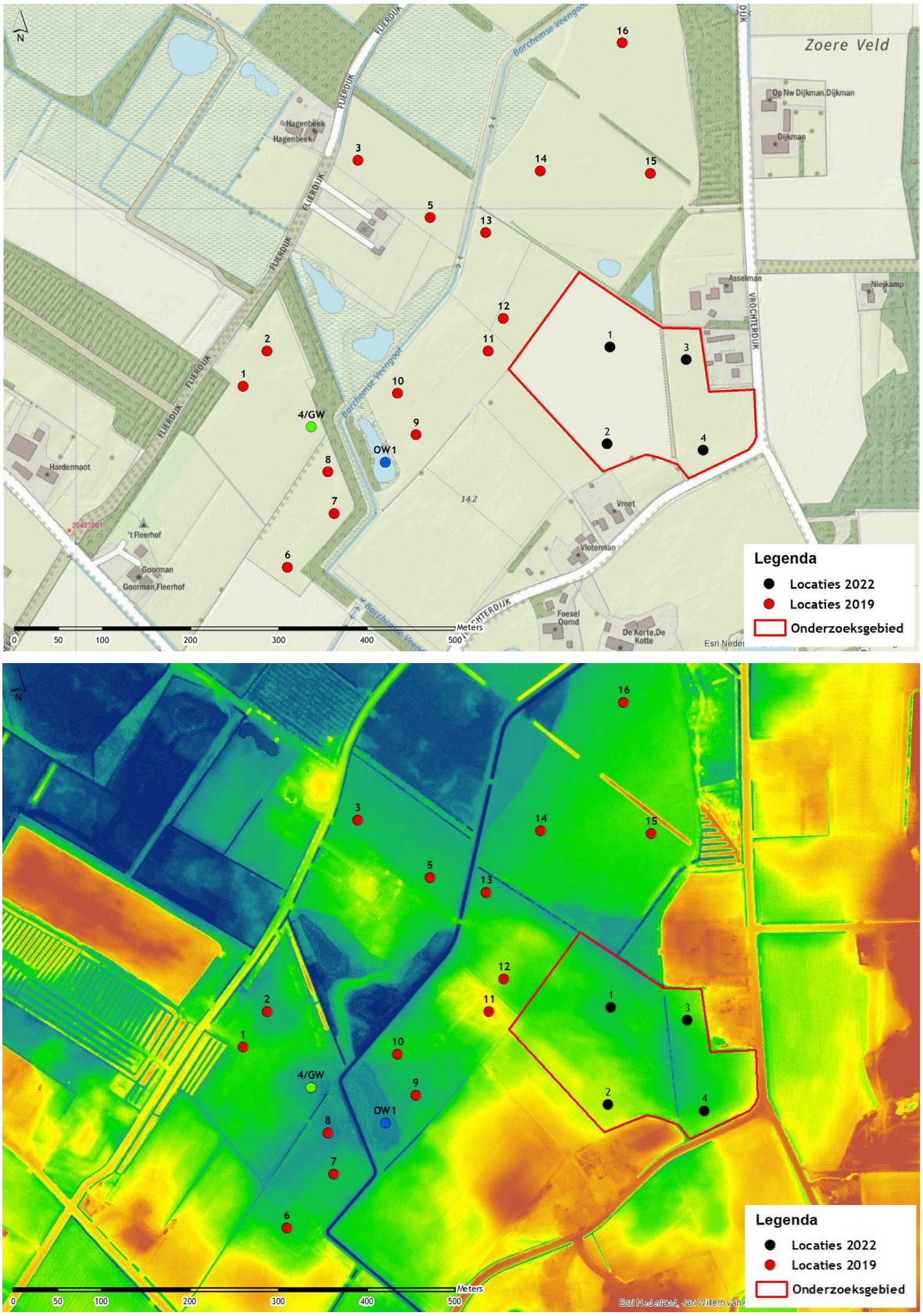
Tabel 1. XY-coördinaten, maaiveldhoogte (m +NAP), landgebruik (AK= akker en GS = grasland), actuele grondwaterstand (GWS; 3 juni 2022), gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Grondwaterstanden zijn gegeven in cm onder maaiveld. Voor ligging van de locaties zie Figuur 5.

Locatie	X	Y	MV_hoogte	Gebruik	GWS	GHG	GLG	Omschrijving
1	226606	458843	13,40	AK	90	55	100	Gerst, recent ingezaaid, ridderzuring
2	226602	458739	13,92	AK	120	50	120	Gerst
3	226690	458830	13,57	GS	80	60	110	Gestreepte witbol, ridderzuring, ruwbeemdgras
4	226711	458728	13,53	GS	95	40	100	Grassenmix, gestreepte witbol, grote vossenstaart, ruw beemdgras

3.2 Chemische analyse

Per bodemmonster werden vervolgens de volgende variabelen bepaald:

- Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid;
- Olsen-P (plantenbeschikbare P fractie);
- Totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide);
- Selectie van bodemlagen (toplaag en direct onder de bouwvoor): pH-zout en zoutuitwisselbare concentraties van o.a. ammonium, nitraat, fosfor en calcium.



Figuur 5. Kaart met de ligging van de boorlocaties (zwarte stippen). De nummering van de boorlocaties komt overeen met de XY-coördinaten in Tabel 1. De rode bodemlocaties werden in 2019 onderzocht, evenals twee locaties waar de (grond)waterkwaliteit werd bepaald (groene en blauwe stip). Ondergrond: Open Topografie Nederland en AHN4 (Esri Nederland).

. . . . . .

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 60ºC. 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 550ºC. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsen-extractie

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

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestrueerd 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 ºC bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in µmol per liter bodem.

Zoutextractie (NaCl-extractie)

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

. . . . . .

Elementenanalyse (ICP en Auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in het grondwater en bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur.

4. RESULTATEN BODEMCHEMISCH ONDERZOEK

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden op basis van de resultaten van het bodemchemisch onderzoek de kansen voor natuurontwikkeling beschreven. In paragraaf 4.2 worden de abiotische streefconcentraties voor een aantal (natte) natuurtypen nader toegelicht. Vervolgens wordt in paragraaf 4.3 per locatie de kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur beschreven en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn. In paragraaf 4.4 wordt een samenvatting van de adviezen gegeven, gevolgd door enkele algemene aandachtpunten bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in paragraaf 4.5.

4.2 Abiotische streefconcentraties natuurtypen

Natuurbeheertypen

De kansen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden worden sterk, zeker onder natte condities, bepaald door de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem (zie Hoofdstuk 2). Voor het vaststellen van de fosfaatbeschikbaarheid zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van belang, waarbij de Olsen-P concentratie een maat is voor de voor planten beschikbare fosfaatfractie. De totaal-P concentratie geeft de totale P-voorraad in de bodem waarvan een deel op termijn weer beschikbaar kan komen voor planten. Vanwege het feit dat planten wortelen in een bepaald bodemvolume en niet in een bepaalde bodemmassa worden de concentraties in deze notitie uitgedrukt per liter verse bodem.

Tabel 2. Gemiddelde hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand, pH-H_2O 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-H2O	Olsen-P (umol/l FW)	totaal-P (mmol/l FW)
Hoogveen		10 + mv	5 -mv	3.5-5	100-300	0.5-2.5
Vochtige heide		10+ tot 20- mv	20- tot 50- mv	3.5-5	100-500	0.5-2.5
Schraalgrasland	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	40- tot 120 - mv	4.5-6	150-400	1-3
	Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	4.5-6.5	100-500	1-6
	Blauwgrasland	0 tot 25- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	200-500	2-10 (tot 20)
Vochtig hooiland	Dotterbloemhooiland / Veldrusschraalland	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Moeras	Grote zeggenmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Rietmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 40- mv	>5	-	-
Hoog- en laagveenbos	Berkenbroekbos	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
	Elzenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)

Welke natte natuurbeheertypen zich daadwerkelijk in het gebied kunnen ontwikkelen is onder andere afhankelijk van de voedselrijkdom van de bodem, de mate van buffering van de bodem en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater. In Tabel 2 staan voor een groot aantal natte natuurbeheertypen de abiotische randvoorwaarden aangegeven.

Voor de ontwikkeling van soortenrijke 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):

- Vochtige heide: 100-500 µmol/l bodem (totaal-P <2-3 mmol/l bodem);
- Nat schraalgrasland: (<)300-500 µmol/l bodem (optimaal <300 µmol/l bodem);
- Vochtig hooiland: 300-800 µmol/l bodem (optimaal <500 µmol/l bodem);
- Soortenrijk kruiden- en faunarijk grasland: 900-1200 µmol/l bodem;
- Kruiden- en faunarijk grasland: >1200 µmol/l bodem (P-z < 2 µmol/l en nitraat <100-200 µmol/l).

Verschralingsduur

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

De verschralingsduur voor uitmijnen is berekend op basis van het verschil tussen de actuele totaal-P concentratie en de totaal-P streefconcentratie, uitgaande van een P-afvoer van 40 kg hectare per jaar (Chardon, 2008). Deze afvoer kan gehaald worden met uitmijnen met grasklaver in combinatie met kalibemesting, maar de daadwerkelijke onttrekking is afhankelijk van de omstandigheden (o.a. hydrologie). De streefconcentratie voor totaal-P is hierbij niet op een standaardwaarde vastgesteld, maar berekend aan de hand van de streefwaarde voor Olsen-P en de actuele beschikbare P-fractie (Olsen-P/totaal-P-ratio). Stel dat de actuele P-fractie 0,1 is (10% van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 µmol Olsen-P/l de streefwaarde voor totaal-P 5 mmol/l ((0,5/10) x 100). Stel dat bij een ijzer- en kalkrijke bodem de actuele P-fractie slechts 0,05 is (5% van de totale P voorraad is beschikbaar), dan is de streefwaarde voor totaal-P 10 mmol/l ((0,5/5) x 100). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de verschralingsperiode gelijk blijft. Wanneer we hiervoor zouden corrigeren (veranderende (Ca+Fe)/P-ratio) valt de verschralingsduur 10-20% lager uit. Het is echter te verwachten dat de effectiviteit van de verschraling in de laatste fase afneemt, waardoor de P-afvoer van 40 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschralingsduur hoger uit zou vallen. De gehanteerde formule lijkt overall dan ook een goed beeld te geven van de indicatieve verschralingsduur. Verder is de ondergrens voor de totaal-P streefconcentratie gesteld op 3 mmol/l.

. . . . . .

Bodembuffering

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 en vochtig hooiland mogelijk te maken dient de bodem voldoende gebufferd te zijn. Soortenrijke vochtige heischrale graslanden komen over het algemeen voor bij Ca-z concentraties van 4.000-10.000 µmol/l en Olsen-P concentraties van 150-400 µmol/l. Onder zeer natte condities kan een kleine zeggenvegetatie tot ontwikkeling komen. Bij concentraties van circa 10.000-25.000 µmol/l (Ca-t veelal > 20 mmol/l) en Olsen-P concentraties van 200-500 µmol/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 3.

Tabel 3. 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).

											N14.02		
						N07.01	N11.01				N14.01		
			Codes natuurbeheertypen			N06.04	N06.04	N10.01	N10.01	N10.02	N10.02		
					Olsen-P (µmol/l)	< 500 (800)	< 300 (600)	< 500 (700)	< 500 (700)	< 600 (900)	< 800 (1000)		
					Totaal-P (mmol/l)	< 2,5 (6)	< 3 (7)	< 6 (10)	< 10 (20)	< 15 (35)	< 20 (50)		
Categorie	Ca-NaCl (µmol/l)		Totaal calcium (mmol/l)		Basenverzadiging	Droge heide Natte heide	Droog heischraal grasland Vochtig heischraal grasland	Kleine zeggen vegetatie	Blauwgrasland	Veldrusschraalland	Dotterbloemhooiland & Elzenbroekbossen	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			

4.3 Kansen voor natuurontwikkeling

In deze paragraaf worden op basis van bodemtype en bodemchemie (Tabel 4) de kansen voor natuurontwikkeling besproken. De grondwaterkwaliteit en (variatie in) grondwaterstanden zijn natuurlijk ook van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Vaak zijn de huidige grondwaterstanden te laag voor de gewenste ontwikkelingen ondanks een eventuele maaiveldverlaging door het afgraven van de P-rijke toplaag van de bodem. Om de gewenste ontwikkelingen mogelijk te maken zijn aanvullende hydrologische maatregelen nodig. Verder dient het afgraven van de P-rijke bodem te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van dit onderzoek. De resultaten van dit bodemchemisch onderzoek vormen wel een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

In Tabel 4 staat de berekende verschralingsduur via maaien en afvoeren voor iedere locatie en diepte gegeven. Deze verschralingsduur is berekend voor een Olsen-P streefconcentratie van zowel 300, 500, 800 als 1200 µmol/l. De streefwaarde van 1200 µmol Olsen-P/l kan gehanteerd worden voor goed ontwikkelde kruidenrijke graslanden. Voor het berekenen van de totale verschralingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschralingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld.

Tabel 4. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) van bodemlocaties. HZT = horizont; OS = organisch stofpercentage; V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem; Ols-P = Olsen-P; -t = totale concentratie, -z = zoutuitwisselbare (labiele) concentraties, BV = indicatieve basenverzadiging, M3/M5/M8/M12 = berekende verschralingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren (tot een streefconcentratie van 300/500/800/1200 µmol Olsen-P /l) (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschralingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschralingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De Olsen-P en zoutuitwisselbare concentraties zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

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

Loc.	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	P-Ols	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	S/MgCa	Al-z	Ca-z	Al/Ca	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO_3-z	NH_4-z	M3	M5	M8	M12
1	0 - 20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	Ap	7	24	1,1	1513	37,0	0,04	223	58	754	22	6	21	13	0,16	10	18041	0,00	233	4460	6,4	100	2	799	80	186	155	109	48
	20 - 30	zand, sterk siltig, matig humeus	A	7	24	1,1	1459	37,3	0,04	213	57	840	24	6	20	12	0,16	19	17385	0,00	707	4195	6,1	100	2	762	121	93	77	53	21
	30 - 40	zand, sterk siltig, matig humeus	A	7	25	1,1	1103	50,4	0,02	233	60	1324	27	8	25	11	0,13											115	86	43	0
	40 - 55	zand, uiterst siltig, zwak humeus, inspoeling	AB	5	20	1,3	297	24,9	0,01	158	34	913	38	8	22	2	0,04	26	22667	0,00	580	5939	6,1	99	0	235	282	0	0	0	0
	55 - 65	zand, sterk siltig, moedermateriaal	BC	1	16	1,4	120	3,2	0,04	134	22	72	30	10	25	1	0,01											0	0	0	0
2	0 - 20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	Ap	6	13	1,1	2087	17,7	0,12	150	26	173	11	3	11	7	0,19	27	10453	0,00	422	3295	5,3	99	2	115	108	92	84	68	47
	20 - 30	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	Ap	6	13	1,1	2195	17,1	0,13	149	24	157	11	3	10	7	0,20											44	41	34	24
	30 - 45	zand, sterk siltig, matig humeus, omgewerkt	A	5	12	1,1	2310	18,5	0,12	182	20	205	12	4	11	6	0,19	98	7679	0,01	777	2730	5,3	98	1	105	39	73	68	57	42
	45 - 55	zand, sterk siltig, zwak humeus, moedermat.	BC	1	13	1,5	197	3,0	0,07	223	21	201	75	13	25	0	0,00											0	0	0	0
3	0 - 20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	Ap	10	23	0,9	1993	25,1	0,08	144	37	234	11	4	16	11	0,22	85	12714	0,01	104	4059	5,0	98	2	185	112	133	117	94	62
	20 - 35	zand, sterk siltig, matig humeus	A	8	19	1,0	1840	29,8	0,06	140	47	328	13	3	12	9	0,15	44	13641	0,00	185	3777	5,2	99	2	213	102	117	102	79	49
	35 - 50	zand, sterk siltig, matig humeus	A	8	21	1,0	1846	24,4	0,08	139	42	258	12	3	11	8	0,16											96	83	65	40
	50 - 60	zand, uiterst siltig, zwak humeus, inspoeling	AB	2	20	1,4	337	6,4	0,05	390	75	268	53	7	41	2	0,02											2	0	0	0
	60 - 70	zand, sterk siltig, moedermateriaal	C	2	22	1,4	299	4,0	0,07	154	38	74	28	8	22	4	0,07											0	0	0	0
4	0 - 20	zand, sterk siltig, matig humeus, bv	Ap	10	27	0,9	976	38,7	0,03	270	73	917	26	5	23	13	0,14	8	22671	0,00	83	5840	5,9	98	2	322	1273	168	118	44	0
	20 - 35	zand, sterk siltig, matig humeus, omgewerkt	A	8	26	1,1	634	80,4	0,01	418	110	2831	37	5	32	6	0,04	34	35978	0,00	94	5228	6,4	100	1	971	85	199	80	0	0
	35 - 50	zand, uiterst siltig, zwak humeus, inspoeling	AB	3	19	1,3	343	15,9	0,02	238	52	556	38	8	28	2	0,03	7	26836	0,00	103	2951	6,2	100	1	317	63	9	0	0	0
	50 - 60	zand, sterk siltig, moedermateriaal	BC	1	16	1,5	117	4,6	0,03	177	34	102	30	13	36	0	0,00											0	0	0	0

. . . . . .

Algemeen beeld bodemchemie

Als gevolg van het agrarische gebruik is op de vier onderzochte locaties de fosfaatbeschikbaarheid in de toplaag van de bouwvoor te hoog (976-2087 µmol Olsen-P/l) voor de ontwikkeling van nat schraalland, zoals blauwgrasland (streefconcentratie < 300-500 µmol Olsen-P/l). Verschralen van de toplaag (0-25 cm) van de bodem door middel van een verschralingsbeheer van maaien en afvoeren, vergt ca. 45-150 jaar. De zandbodem is (zeer) rijk aan ijzer (overwegend >> 200 mmol Fe-t/l; Tabel 4). Als gevolg van de invloed van ijzerrijk grondwater tot in het maaiveld heeft er in het verleden ijzerophoping in de toplaag van de bodem plaatsgevonden. Doordat het ijzerrijke grondwater ook fosfor bevat is met het ijzer ook P afgezet in de bodem. De Fe/P-ratio in deze zeer ijzerrijke bodemlagen is echter gunstig. Dit wil zeggen dan er (veel) meer ijzer dan fosfor in de bodem zit. Op de locaties waar de ijzerconcentraties extreem hoog zijn (> 1000 mmol Fe-t/l) is de totaal-P concentratie in de bodem zeer hoog (50-80 mmol P-t/l; Tabel 4).

Zoals eerder aangegeven is de voor planten beschikbare P concentratie bepaald met behulp van een Olsen-extractie (extractie met een bicarbonaatoplossing). Het is echter de vraag of deze extractiemethode een juiste weergave geeft van de voor planten beschikbare fosfaatconcentratie onder zeer/extreem ijzerrijke omstandigheden. Wanneer namelijk een kleine fractie van het aan ijzer gebonden totaal-P bij de extractie wordt gemobiliseerd resulteert dit, als gevolg van de zeer hoge totaal-P concentratie, direct in een hoge Olsen-P concentratie.

Het is daarom belangrijk om ook naar de labiel-P concentraties (P concentratie in een zoutextract: in Tabel 4 weergeven als P-z) te kijken. De labiel-P concentraties in het gebied zijn laag (≤ 2 µmol P-z/l) wat erop kan duiden dat de P-beschikbaarheid onder zeer/extreem rijke omstandigheden in de praktijk lager is dan op basis van een Olsen-extractie is bepaald. Daarnaast wordt bij zeer hoge ijzerconcentraties de vegetatieontwikkeling deels gestuurd door ijzertoxiciteit. Hierdoor wordt de groei van een aantal hoog competitieve soorten, zoals liesgras, onderdrukt en kunnen planten als elzenzegge, holpijp en dotterbloem tot ontwikkeling komen.

Voor de twee aanvullend onderzochte percelen lijken er verschillende opties mogelijk. Verschralen voor de ontwikkeling van nat schraalland vergt een langdurig verschralingsbeheer. Doordat ook de diepere bodemlagen vaak verrijkt zijn met fosfaat, zal er 40-50 cm afgegraven moeten worden om voldoende P-arme omstandigheden te creëren. Aangezien onder (zeer) ijzerrijke omstandigheden de fosfaatbeschikbaarheid in de praktijk lager kan uitvallen dan ingeschat op basis van de Olsen-P concentraties, liggen er mogelijk kansen om vanuit de toplaag met een verschralingsbeheer op termijn kruiden- en faunarijk grasland (streefconcentratie 1200 µmol Olsen-P/l) te ontwikkelen. Lokaal, onder zeer ijzerrijke condities, is de toplaag mogelijk al voldoende schraal om zich te ontwikkelen richting vochtig hooiland (dotterbloemhooiland). Locatie 4 (Olsen-P: 976 µmol/l en P-t: 38,7 mmol/l) lijkt daarvoor zeer kansrijk.

Met een geschatte GHG van 40-60 en een GLG van 100-120 cm-mv, zijn de hydrologische condities niet optimaal voor vochtig hooiland (Tabel 2). Om vochtigere condities te creëren is het een optie om 20 cm af te plaggen, hiermee komt het maaiveld niet alleen dichter bij het grondwater te liggen maar wordt ook een deel van het geaccumuleerde fosfaat verwijderd. Het advies is om na plaggen een gericht zaadmengsel of maaisel van vochtig kruiden- en faunarijkgrasland op te brengen om de vegetatieontwikkeling te versnellen (zie ook paragraaf 4.5).

Een alternatief is om wel de P-rijke bodemlagen af te graven voor de ontwikkeling van nat schraalland. Hieronder wordt, vergelijkbaar met de beschrijvingen in Visscher & Tomassen (2019) per locatie aangegeven wat de mogelijkheden hiervoor zijn.

. . . . . .

Locatie 1 (GLG = 100 cm-mv, GHG = 55 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is zeer ijzerrijk en matig calciumhoudend (Fe-t: 754 mmol/l, Ca-t: 58 mmol/l en Ca-z: ± 18.000 µmol/l). Vanwege de ijzerrijkdom van de bouwvoor is de totale P-voorraad zeer hoog (P-t: 37,0 mmol/l), maar de fosfaatbeschikbaarheid is matig hoog (Olsen-P: 1513 µmol/l). Na afgraven van 40 cm is de zandbodem voldoende schraal (Olsen-P: 297 µmol/l en P-t: 24,9 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 34 mmol/l, Ca-z: ± 22.500 µmol/l en Fe-t: 913 mmol/l).

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

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

Locatie 2 ligt wat hoger dan de andere locaties (Figuur 5). De bouwvoor (0-30 cm-mv) is ijzerrijk en matig calciumhoudend (Fe-t: 157-173 mmol/l, Ca-t: 24-26 mmol/l en Ca-z: ± 10.500 µmol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 2087-2195 µmol/l; P-t: 17,1-17,7 mmol/l). De omgewerkte zandbodem direct onder de bouwvoor (30-45 cm-mv) is ook fosfaatrijk (Olsen-P: 2310 µmol/l en P-t: 18,5 mmol/l). Na afgraven van 45 cm is de zandbodem voldoende schraal (Olsen-P: 197 µmol/l; P-t: 3,0 mmol/l) voor de ontwikkeling van een vochtig heischraal grasland (Ca-t: 21 mmol/l en Fe-t: 201 mmol/l).

Advies: 45 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een vochtig heischraal grasland.

Locatie 3 (GLG = 110 cm-mv, GHG = 60 cm-mv)

De bouwvoor (0-20 cm-mv) is ijzerrijk en matig calciumhoudend (Fe-t: 234 mmol/l, Ca-t: 37 mmol/l en Ca-z: ± 12.500 µmol/l). De bouwvoor is verrijkt met fosfor (Olsen-P: 1993 µmol/l; P-t: 25,1 mmol/l). De zandbodem onder de bouwvoor (20-50 cm-mv) is ook fosfaatrijk (Olsen-P: 1840-1846 µmol/l en P-t: 24,4-29,8 mmol/l). Na afgraven van 50 cm is de zandbodem voldoende schraal (Olsen-P: 337 µmol/l en P-t: 6,4 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 75 mmol/l en Fe-t: ± 268 mmol/l).

Advies: 50 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland.

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

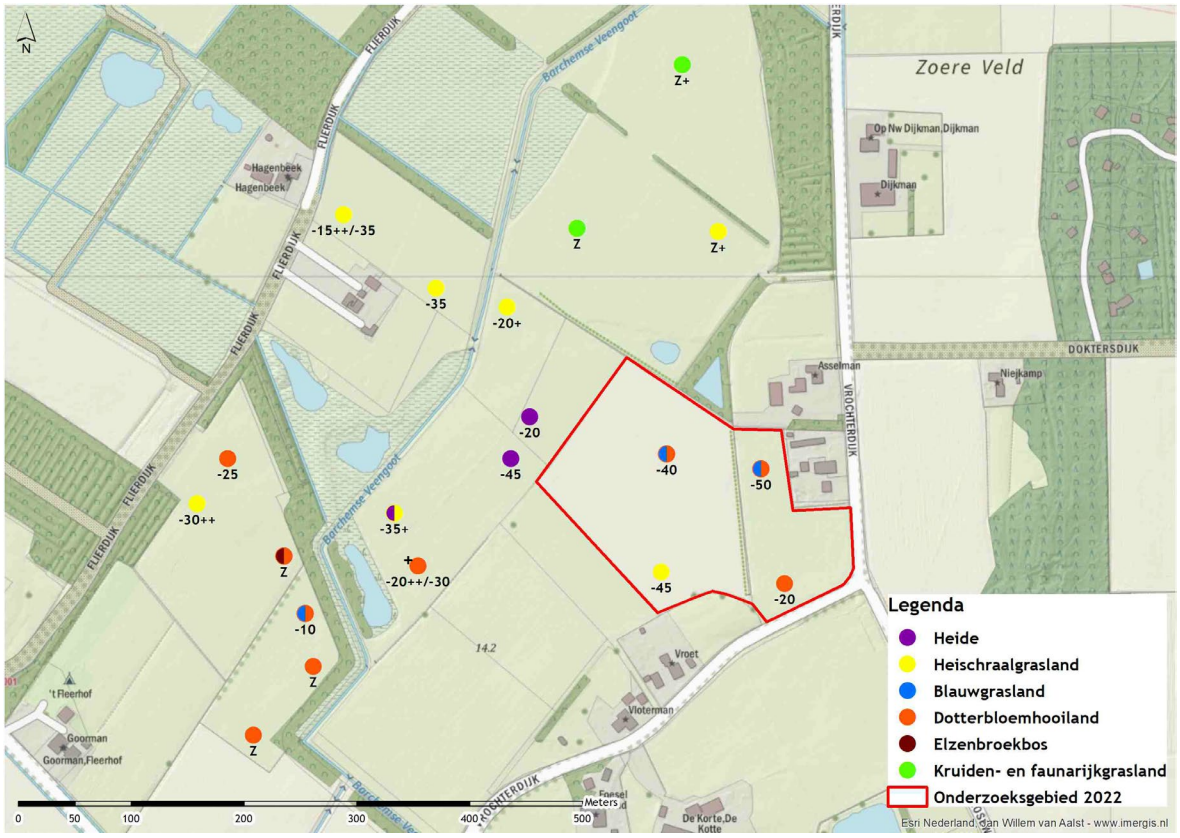
De bouwvoor (0-20 cm-mv) is zeer ijzerrijk en sterk calciumhoudend (Fe-t: 917 mmol/l, Ca-t: 73 mmol/l en Ca-z: ± 22.500 µmol/l). Vanwege de ijzerrijkdom van de bouwvoor is de totale P-voorraad zeer hoog (P-t: 38,7 mmol/l), maar de fosfaatbeschikbaarheid relatief laag (Olsen-P: 976 µmol/l). Na afgraven van de bouwvoor (20 cm) is de sterk siltige zandbodem (20-35 cm) voldoende schraal (Olsen-P: 634 µmol/l en P-t: 80,4 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 110 mmol/l, Ca-z: ± 36.000 µmol/l en Fe-t: 2831 mmol/l). De totale P-voorraad in de bodem is wel zeer hoog, dus het is belangrijk dat de toplaag van de bodem in de zomer tijdelijk droogvalt om het fosfaatbindende vermogen van de bodem te herstellen. Vanwege de ijzerrijkdom van de bodem zal door extra vastlegging van fosfaat na afgraven de fosfaatbeschikbaarheid waarschijnlijk nog lager worden dan op basis van een Olsen-extractie is bepaald. De nitraatconcentratie in deze bodemlaag is wel hoog (NO_3-z: 971 µmol/l). Nitraat is mobiel in de bodem en de verwachting is dat de concentraties door uitspoeling op relatief korte termijn voldoende afnemen.

Advies: 20 cm afgraven t.b.v. de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland.

4.4 Samenvatting kansen voor natuurontwikkeling

Voor de ontwikkeling van nat schraalland zijn op locatie 1 t/m 3 de geadviseerde ontgravingsdiepten behoorlijk fors (40-50 cm). Een alternatief is om op deze locaties het ambitieniveau bij te stellen en door het voeren van een verschralingsbeheer op termijn een kruiden- en faunarijk grasland te ontwikkelen. Lokaal, onder zeer ijzerrijke condities, is de toplaag mogelijk al voldoende schraal om zich te ontwikkelen richting vochtig hooiland. Met een geschatte GHG van 40-60 en een GLG van 100-120 cm-mv zijn de hydrologische condities niet optimaal voor vochtig hooiland. Om vochtigere condities te creëren is het een optie om 20 cm af te plaggen, hiermee komt het maaiveld niet alleen dichter bij het grondwater te liggen, maar wordt ook een deel van het geaccumuleerde fosfaat verwijderd. Het advies is om na plaggen een gericht zaadmengsel of maaisel van een vochtig kruiden- en faunarijkgrasland of vochtig hooiland op te brengen om de vegetatieontwikkeling te versnellen.

Op basis van het in 2019 uitgevoerde bodemchemische onderzoek (Visscher & Tomassen, 2019) werd een advieskaart met per locatie de geadviseerde ontgravingsdiepte en natuurtypen opgesteld. In Figuur 6 is dit kaartje aangevuld met de potenties voor de ontwikkeling van nat schraalland op locatie 1 t/m 4.

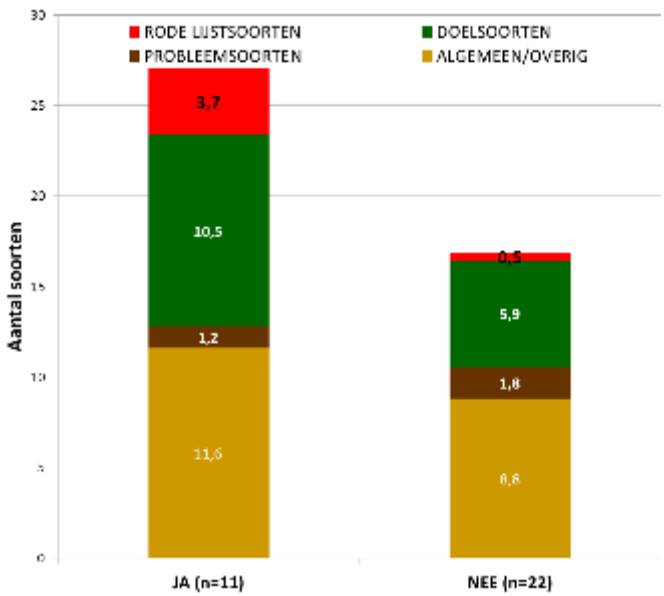


Figuur 6. Samenvatting van de benodigde ontgravingsdiepte (in cm) per locatie voor de ontwikkeling van schrale vegetatietypes. Op de kaart is zowel het advies gebaseerd op het onderzoek uit 2019 (Visscher & Tomassen, 2019) weergeven als van het huidige onderzoek. Z = verwijderen van de zode. Indien aanvullende verschraling via maaien en afvoeren benodigd is, is dit aangegeven: + = <10 jaar en ++ = >10 jaar maaien en afvoeren. De ontwikkeling van een dotterbloemhooiland of blauwgrasland is alleen mogelijk in combinatie met het nemen hydrologische maatregelen (grondwaterstanden nu te laag).

4.5 Aanvullende maatregelen

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

Op de afgegraven locaties wordt geadviseerd om kort na afgraven (<1 jaar) maaisel/plagsel op te brengen uit goed ontwikkelde referentielocaties om kolonisatie door doelsoorten te stimuleren. Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank vaak niets meer over. Natte, venige laagtes kunnen een uitzondering vormen. Zonder het uitstrooien van vers maaisel of plagsel uit geschikte referentiegebieden is de kans op vestiging van doelsoorten klein. Veel zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich doorgaans niet of slechts na lange tijd op de herstelde terreinen. Het herintroduceren van doelsoorten uit zo lokaal mogelijke bronnen (in verband met de genetische diversiteit en de aanpassing aan lokale omstandigheden) leidt onder de juiste bodemchemische en hydrologische omstandigheden tot een succesvol herstel van ontgronde terreinen (Figuur 7).



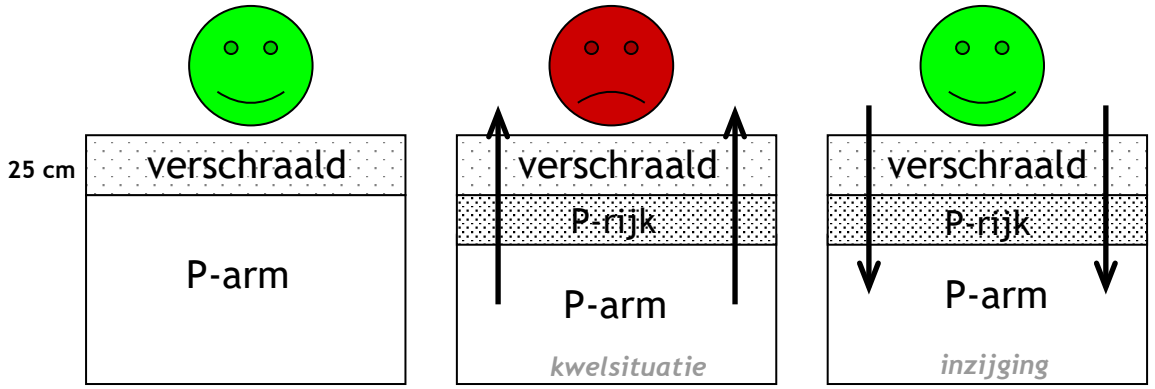
Figuur 7. Links: resultaten van een ontgrondingsevaluatie, uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-WARE in 2014 en 2015. Op 33 locaties zijn vegetatieopnames gemaakt in gebieden waar door middel van ontgronding (minimaal 4 jaar geleden) voedselarme condities zijn gecreëerd op voormalige landbouwgronden ten 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.

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 7 en Figuur 8) waarbij idealiter 1 m^2 vers verzameld maaisel over 1(-2) m^2 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 m^2 verspreiden over 15-25 m^2) uit referentielocaties wordt opgebracht (enten), wordt ook bodemleven (o.a. mycorrhiza schimmels) geïntroduceerd. Mycorrhiza schimmels zijn van belang bij de opname van nutriënten onder voedselarme omstandigheden. Daarnaast beschermen ze de kiemlingen tegen verdroging. Het aanbrengen van maaisel of plagsel op een dichte zode is geen geschikte maatregel door het ontbreken van vestigingsplekken. Het achterwege laten van deze maatregel is zonde van de vele inspanningen die zijn gedaan om de juiste abiotische randvoorwaarden (bodem en hydrologie) te creëren voor de beoogde doelsoorten.

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

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

Door middel van verschralingsbeheer kan een bodempakket van circa 25(-30) cm worden verschraald. Op plekken waar de bodem onder de 25 cm eveneens verrijkt is met fosfaat kan, wanneer de grondwaterinvloed in het maaiveld wordt hersteld (Figuur 9), P-nalevering richting de verschraalde bodemlaag optreden. Dit zou echter kunnen leiden tot verrijking van de toplaag en verruiging of de noodzaak voor aanvullende verschraling. Onder invloed van ijzerhoudend grondwater is dit risico mogelijk klein.



Figuur 9. Schematisch overzicht van verschraling waarbij in een kwelsituatie fosfaat uit een rijkere bodemlaag (>25 cm-mv) naar de verschraalde toplaag getransporteerd kan worden (middelste figuur). Bij bodems die vanaf 25 cm onder maaiveld P-arm zijn (linker figuur) en bij inzijgsituaties (rechter figuur) is dit niet van toepassing.

Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals heischrale graslanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden is grondwaterinvloed in de wortelzone of het maaiveld vereist van circa oktober/november t/m maart/april om verzuring, de vorming van regenwaterlenzen en de ontwikkeling van zure vegetaties (op kansrijke locaties voor (zwak) gebufferde schraallande/hooilanden) tegen te gaan. Op plekken waar regenwater stagneert kunnen veenmossen gaan domineren, vooral op gebufferde bodems omdat hier veel CO_2 beschikbaar komt. Tenslotte kan inundatie met P-rijk oppervlaktewater en/of de afzetting van P-rijk slib tot verrijking en daarmee tot verruiging leiden.

5. LITERATUUR

Bobbink, R., M.J. Weijters, A. van der Bij & R. van Diggelen (2016) Het belang van bodemleven bij heideherstel op voormalige landbouwgrond. *Vakblad Natuur Bos Landschap* maart: 10-13.

Chardon, W.J. (2008) Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling. Een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1683. 25 blz.; 43 ref.

De Becker, P. (2004) Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno/Padion en Alnion incanae/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.

Ertsen, D., P. de Louw & J. Buma (2005) OGOR Natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.

Klimkowska, A., R. van Diggelen, J.P. Bakker & A.P. Grootjans (2007) Wet meadow restoration in Western Europe: A quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biological Conservation* **140**: 318-328.

Lamers, L.P.M., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H_2O* **38** (17): 28-30.

Lamers, L., E. Lucassen, H. Tomassen, A. Smolders & J. Roelofs (2009) Verpitrussing bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* **110** (1): 43-46.

Mullekom, M. van, A. Smolders, E. Brouwer & J. Roelofs (2007) Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse Veen. Rapport B-WARE Research Centre, Nijmegen.

Mullekom, M. van, F. Smolders, E. Brouwer, W. Geraedts & J. Roelofs (2009) Herstel van schraalgraslanden in het Hierdense beekdal. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **6**: 2-7.

Mullekom, M. van & F. Smolders (2012) Bodemchemisch onderzoek Gooiermars. Onderzoek naar de natuurontwikkelingsmogelijkheden op voormalige landbouwgronden. Rapport 2012.34, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Weijters, H.B.M. Tomassen, R. Bobbink, A.J.P. Smolders (2013) Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* **114**: 120-126.

Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Department of Agriculture* circular No. 939.

Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **3**(4): 5-11.

Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* **110**: 33-38.

Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **1**: 12-15.

Timmermans, B.G.H & N. van Eekeren (2016) Phytoextraction of soil phosphorus by potassium-fertilized grass-clover swards. *Journal of Environmental Quality* **45**: 701-708.

Tsiafouli, M.A., E. Thébault, S.P. Sgardelis, P.C. de Ruiter, W.H. van der Putten, K. Birkhofer, L. Hemerik, F.T. de Vries, R.D. Bardgett, M.V. Brady, L. Bjornlund, H.B. Jørgensen, S.

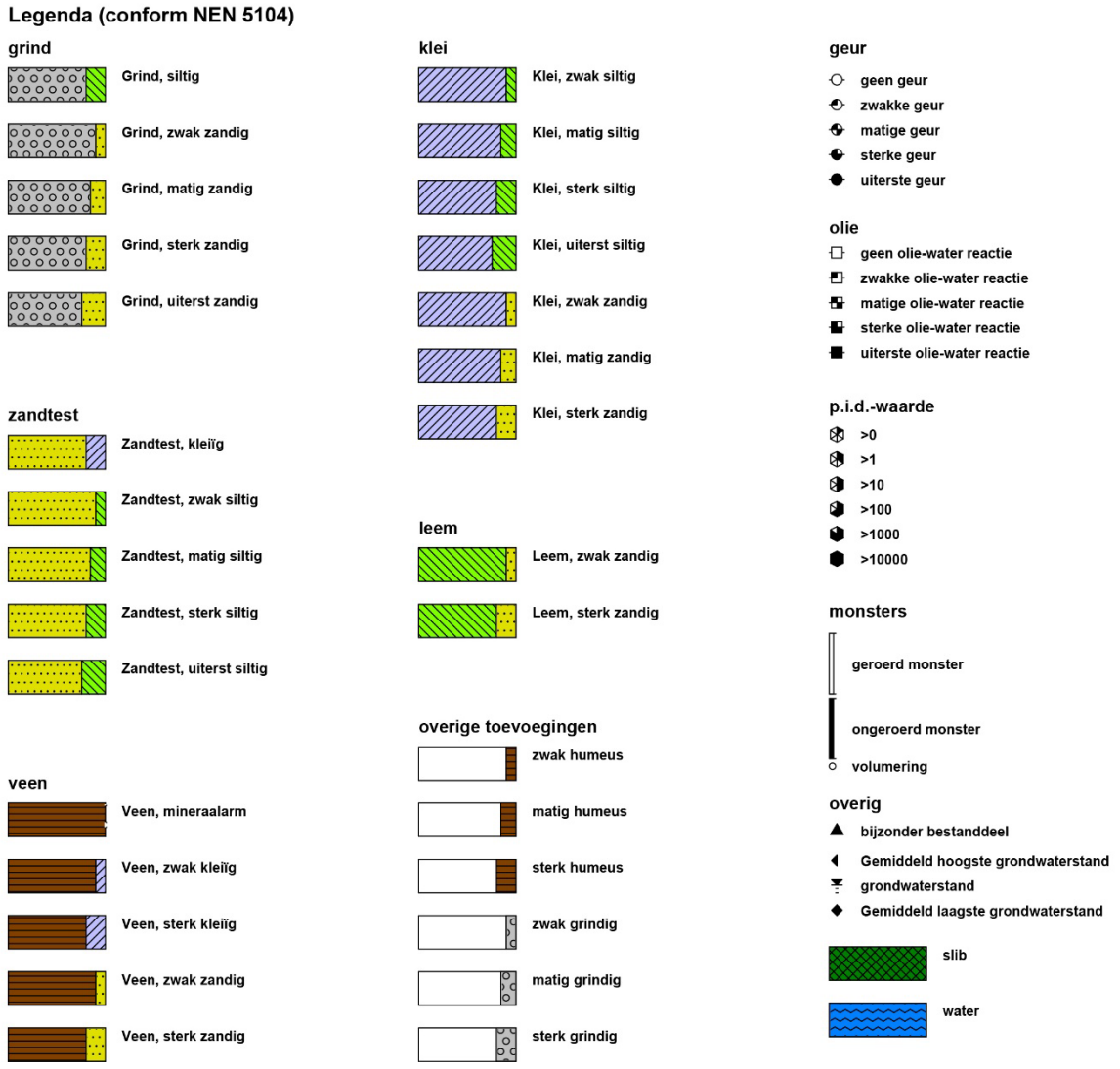
Christensen, T. D' Hertefeldt, S. Hotes, W.H.G. Hol, J. Frouz, M. Liiri, S.R. Mortimer, H. Setälä, J. Tzanopoulos, K. Uteseny, V. Pižl, J. Stary, V. Wolters & K. Hedlund (2015) Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology* **21**: 973–985.

Visscher, A. & H. Tomassen (2019) Biogeochemisch onderzoek Hagenbeek. Rapport RP-19.100.19.66, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

6. BIJLAGEN

Bijlage 1. Profielbeschrijvingen conform NEN5104 van de boorlocaties in Hagenbeek. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door ATKB (boormeester Casper Kuipers).

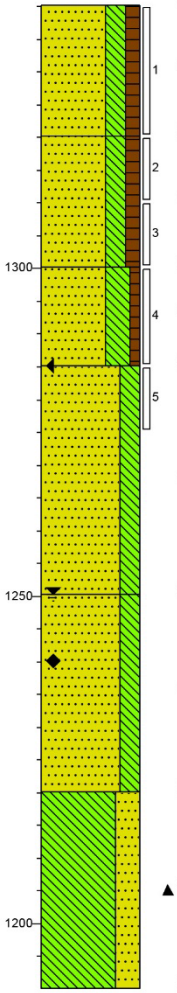
Legenda:



ATKB

Boring: 1

X:	226606.28
Y:	458843.36
Datum:	3-6-2022
Boormeester:	Casper Kuipers
N.A.P. :	13.403
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	90
GHG:	55
GLG:	100



0 akker

(20) **AP-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (150), zwak wortelhoudend, sporen roest, K-waarde: 0.3, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, bouwvoor

20

(20) **A-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (150), resten wortels, resten roest, resten veen, K-waarde: 0.2, donkerbruin, Edelmanboor, Veenresten ivm hangwater., scherp, homogeen, roestvlekken, bodem

40

(15) **AB-HORIZONT**
Zand, zeer fijn, stevig, uiterst siltig, zwak humeus, M50 (140), insluitingen Humus, zwak roesthoudend, laagjes leem, laagjes zand, K-waarde: 0.05, neutraalbruin, Edelmanboor, scherp, grootschalig scheef gelaagd, roestvlekken, inspoelingshorizont

55

(35) **BC-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, M50 (160), resten roest, K-waarde: 0.5, licht beigebruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

90

(30) **C-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, M50 (160), spikkels roest, K-waarde: 0.5, licht grijsbeige, Edelmanboor, Nieuwe roestvorming, scherp, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

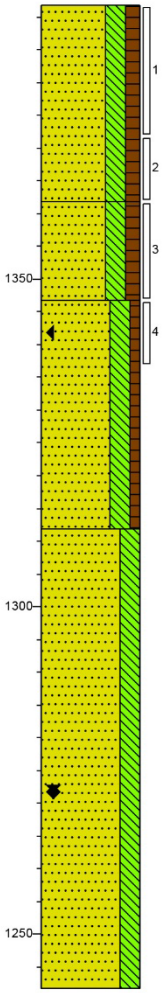
120

(30) **C-HORIZONT**
Leem, stevig, uiterst zandig, M50 (130), laagjes zand, insluitingen hout, K-waarde: 0.01, neutraalgrijs, Edelmanboor, kronkelige zandlagen, moedermateriaal

150

Boring: 2

X:	226601.68
Y:	458738.62
Datum:	3-6-2022
Boormeester:	Casper Kuipers
N.A.P. :	13.918
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	120
GHG:	50
GLG:	120



0 akker

(30) **AP-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (160), zwak wortelhoudend, spikkels roest, K-waarde: 0.3, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, bouwvoor

30

(15) **A-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (160), resten wortels, sporen roest, resten siltig zand, K-waarde: 0.2, donkerbruin, Edelmanboor, scherp, heterogeen, roestvlekken, omgewerkte grond

45

(35) **BC-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, zwak humeus, M50 (160), resten roest, spikkels Humus, K-waarde: 0.5, lichtbeige, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

80

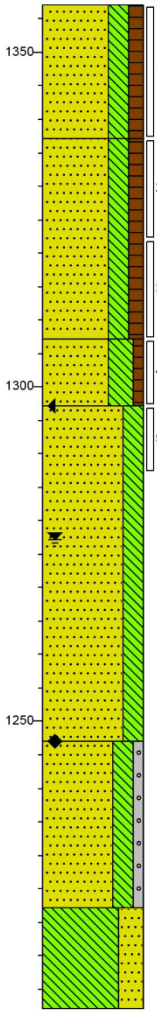
(70) **C-HORIZONT**
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, M50 (160), sporen roest, K-waarde: 0.5, lichtbeige, Edelmanboor, Nieuwe roestvorming, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

150

ATKB

Boring: 3

X:	226690.01
Y:	458830.01
Datum:	3-6-2022
Boormeester:	Casper Kuipers
N.A.P. :	13.572
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	80
GHG:	60
GLG:	110



0 gras

(20) AP-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (155), sporen roest, zwak wortelhoudend, K-waarde: 0.3, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, bouwvoor

20

(30) A-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (155), zwak wortelhoudend, resten roest, resten veen, K-waarde: 0.3, donker grijsbruin, Edelmanboor, Veen resten door hangwater., scherp, homogeen, roestvlekken, bodem

50

(10) AB-HORIZONT
Zand, zeer fijn, stevig, uiterst siltig, zwak humeus, M50 (130), resten roest, insluitingen Humus, laagjes zand, K-waarde: 0.05, licht bruingrijs, Edelmanboor, scherp, kronkelige zandlagen, roestvlekken, inspoelingshorizont

60

(50) C-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, M50 (160), zwak houthoudend, sporen roest, K-waarde: 0.5, licht beigebruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

110

(25) C-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, zwak grindig, M50 (160), spikkels roest, sporen hout, K-waarde: 0.8, licht grijsbeige, Edelmanboor, Nieuwe roestvorming., scherp, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

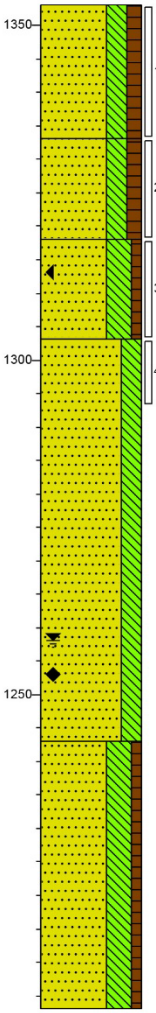
135

(15) C-HORIZONT
Leem, stevig, uiterst zandig, M50 (130), laagjes zand, K-waarde: 0.05, neutraalgrijs, Edelmanboor, kronkelige zandlagen, moedermateriaal

150

Boring: 4

X:	226710.86
Y:	458728.30
Datum:	3-6-2022
Boormeester:	Casper Kuipers
N.A.P. :	13.532
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	95
GHG:	40
GLG:	100



0 gras

(20) AP-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (155), zwak wortelhoudend, sporen roest, K-waarde: 0.3, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, bouwvoor

20

(15) A-HORIZONT
Zand, matig fijn, stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (155), resten wortels, resten siltig zand, resten roest, sporen veen, K-waarde: 0.2, donker grijsbruin, Edelmanboor, scherp, heterogeen, roestvlekken, omgewerkte grond

35

(15) AB-HORIZONT
Zand, matig fijn, stevig, uiterst siltig, zwak humeus, M50 (155), zwak roesthoudend, resten leem, insluitingen Humus, K-waarde: 0.1, lichtbruin, Edelmanboor, geleidelijk, heterogeen, roestvlekken, inspoelingshorizont

50

BC-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, M50 (160), resten roest, sporen hout, K-waarde: 0.8, licht bruinbeige, Edelmanboor, scherp, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

(60)

110

C-HORIZONT
Zand, zeer fijn, matig stevig, uiterst siltig, zwak humeus, M50 (140), zwak houthoudend, K-waarde: 0.1, neutraalgrijs, Edelmanboor, kronkelige zandlagen, moedermateriaal

(40)

150

Bijlage 2. Foto's van de percelen en boorprofielen. Foto's gemaakt door Casper Kuipers van ATKB.

Locatie 1

Locatie 2

Locatie 3

. . . . . .

Locatie 4

. . . . . .

www.b-ware.eu