

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK WAARDEVOL BRUMMEN



- *Conceptrapportage* -

Opdrachtgever: Waterschap Vallei en Veluwe • Auteurs: Hilde Tomassen & Mark van Mullekom •

Projectnummer: PR-21.047 • Rapportnummer: RP-21.047.21.91 •

Datum: 22 oktober 2021

BODEMCHEMISCH ONDERZOEK **WAARDEVOL** BRUMMEN

Conceptrapportage

*Hilde Tomassen
Mark van Mullekom*



Titel rapport:

Bodemchemisch onderzoek WaardeVOL Brummen, conceptrapportage

Auteurs:

Hilde Tomassen & Mark van Mullekom

Rapportnummer: RP-21.002.21.54

Opdrachtgever:

Waterschap Vallei en Veluwe



Informatie:

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

Contactpersonen:

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

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

INHOUDSOPGAVE

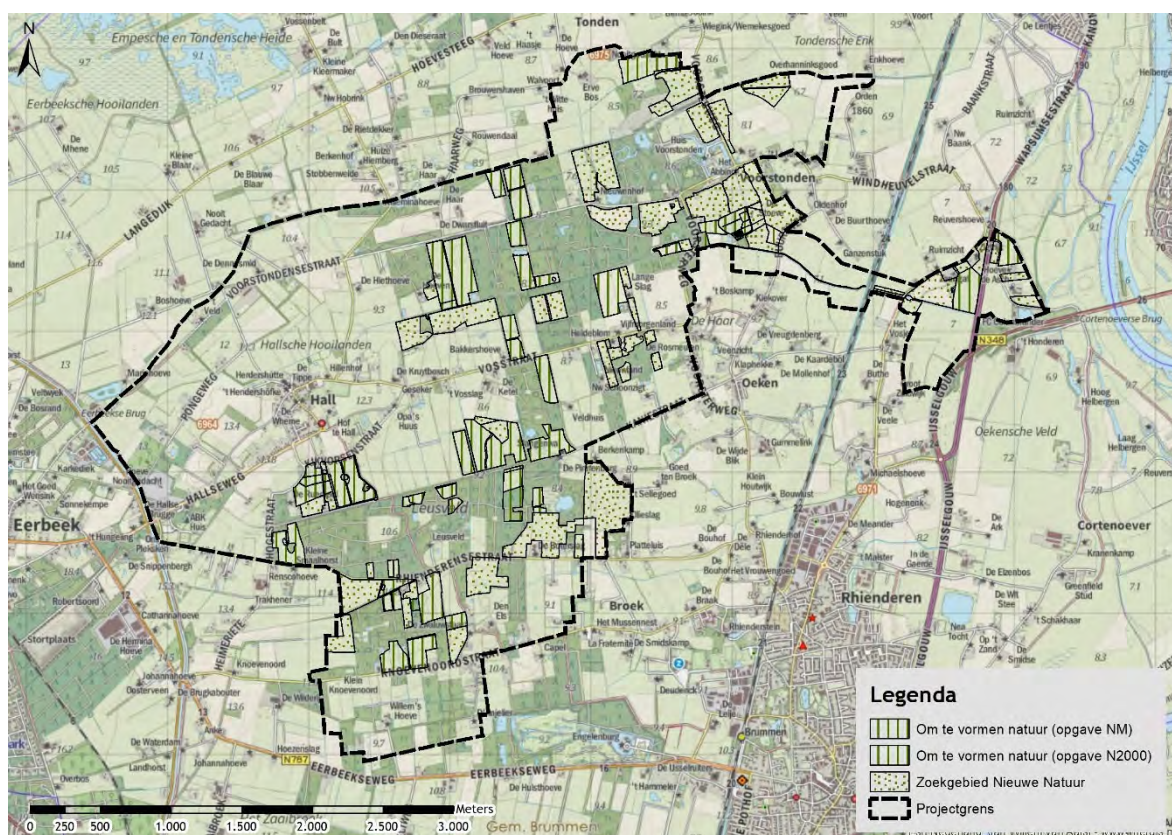
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek	1
1.3 Leeswijzer	2
2. Materiaal en methoden	3
2.1 Veldwerkzaamheden bodemchemisch onderzoek	3
2.2 Chemische analyse	3
3. Resultaten Bodemchemisch onderzoek	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Bodemchemie	12
3.3 Natuurpotenties per deelgebied	17
4. Literatuur	35
5. Bijlagen	37

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Waterschap Vallei en Veluwe, Natuurmonumenten en provincie Gelderland werken samen aan de herinrichting van het gebied Voorstonden - Oekense Beek - Leusveld (project WaardeVOL Brummen; Figuur 1). In 2016 is in het kader van de herstelvisie Voorstonden-Leusveld door Onderzoekcentrum B-WARE een bodemchemisch onderzoek uitgevoerd om de kansen voor natuurontwikkeling van een aantal agrarische percelen in beeld te brengen (van Mullekom & Smolders, 2016). Het huidige onderzoek vormt een aanvulling op het in 2016 uitgevoerde bodemchemische onderzoek.

Het onderzoek is gericht op de bodemchemie. Het uitvoeren van een (ecohydrologische) systeemanalyse en het opstellen van een inrichtingsplan maken geen deel uit van het onderzoek. Met behulp van de resultaten van dit onderzoek kan de opdrachtgever gericht keuzes maken bij de gebiedsontwikkeling omdat duidelijk wordt waar een verschrallingsbeheer of een (beperkte) ontgronding kansen bieden voor de ontwikkeling van soortenrijke, P-gelimiteerde natuur.



Figuur 1. Kaart met de ligging van het onderzoeksgebied WaardeVOL Brummen.

1.2 Aanpak bodemchemisch onderzoek

Het doel van het bodemchemische onderzoek is om de kansen voor de ontwikkeling van natte schrale natuur in kaart te brengen. De bodemopbouw is op 32 locaties in kaart gebracht en verschillende bodemlagen zijn geanalyseerd (o.a. fosfor, calcium, ijzer en organische stof) met als

doel zicht te krijgen op welke locaties een geschikte uitgangssituatie voor soortenrijke, P-gelimiteerde natuurtypen gerealiseerd kan worden en welke verschrallingsmaatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.

Concreet worden op basis van het onderzoek de volgende vragen beantwoord:

- Wat is de bodemopbouw en de bodemchemische samenstelling van de bouwvoor en de bodemlagen direct onder de bouwvoor?
- Wat zijn de natuurpotenties en welke verschrallingsmaatregelen zijn hiervoor vereist?
- Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de toepaste onderzoeksmethoden beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het bodemchemische onderzoek op de (voormalige) landbouwgronden per deelgebied gepresenteerd en de kansen voor de natuurontwikkeling beschreven, gevolgd door een overzicht van de gebruikte literatuur in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 zijn de bijlagen opgenomen, inclusief achtergrondinformatie over de processen die een rol spelen bij de ontwikkeling van natuur op voormalige landbouwgronden.

De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is niet alleen afhankelijk van de kansen en risico's 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 (ecohydrologische) systeem. Deze toetsing en een extrapolatie naar gebiedsdekkende inrichtingsmaatregelen maken geen onderdeel uit van deze opdracht. Wel vormen de resultaten van dit project een belangrijke basis voor het maken van weloverwogen keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

2. MATERIAAL EN METHODEN

2.1 Veldwerkzaamheden bodemchemisch onderzoek

Op basis van de perceelsgrenzen, hoogtekaart (op laaggelegen gebieden meer de nadruk gelegd) en detailbodemkaart is in overleg met de opdrachtgever een bemonsteringsplan opgesteld. Voor de exacte ligging van de bemonsterde locaties zie Figuur 2 en Figuur 3.

Van 9 t/m 11 augustus 2021 werd op 32 locaties in (voormalige) landbouwpercelen een ondiepe boring (tot 150 cm onder maaiveld) gezet met een Edelmanboor. De exacte ligging van de boorlocaties werd ingemeten met een GPS. Het bodemprofiel werd beschreven volgens NEN 5104 (zie Bijlage 2 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel ook de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Op iedere locatie werd de volgende bemonsteringsstrategie gehanteerd, waarbij op 3 of 4 diepten bodemonmonsters werden verzameld:

- o Toplaag bouwvoor (0-20 cm-mv);
- o Restant bouwvoor (alleen indien bouwvoor dikker dan 20 cm);
- o 0-10 cm onder de bouwvoor;
- o 10-20 cm onder de bouwvoor.

De exacte bemonsteringsdiepten werden afgestemd op de bodemhorizonten. Hierdoor kan het zijn dat er soms van de hierboven genoemde bemonsteringsdieptes wordt afgeweken. De reden hiervoor is dan herleidbaar uit de beschrijving van de bodemprofielen.

In totaal werden 126 bodemonmonsters verzameld en geanalyseerd. De verzamelde bodemonmonsters werden in afgesloten potten vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking.

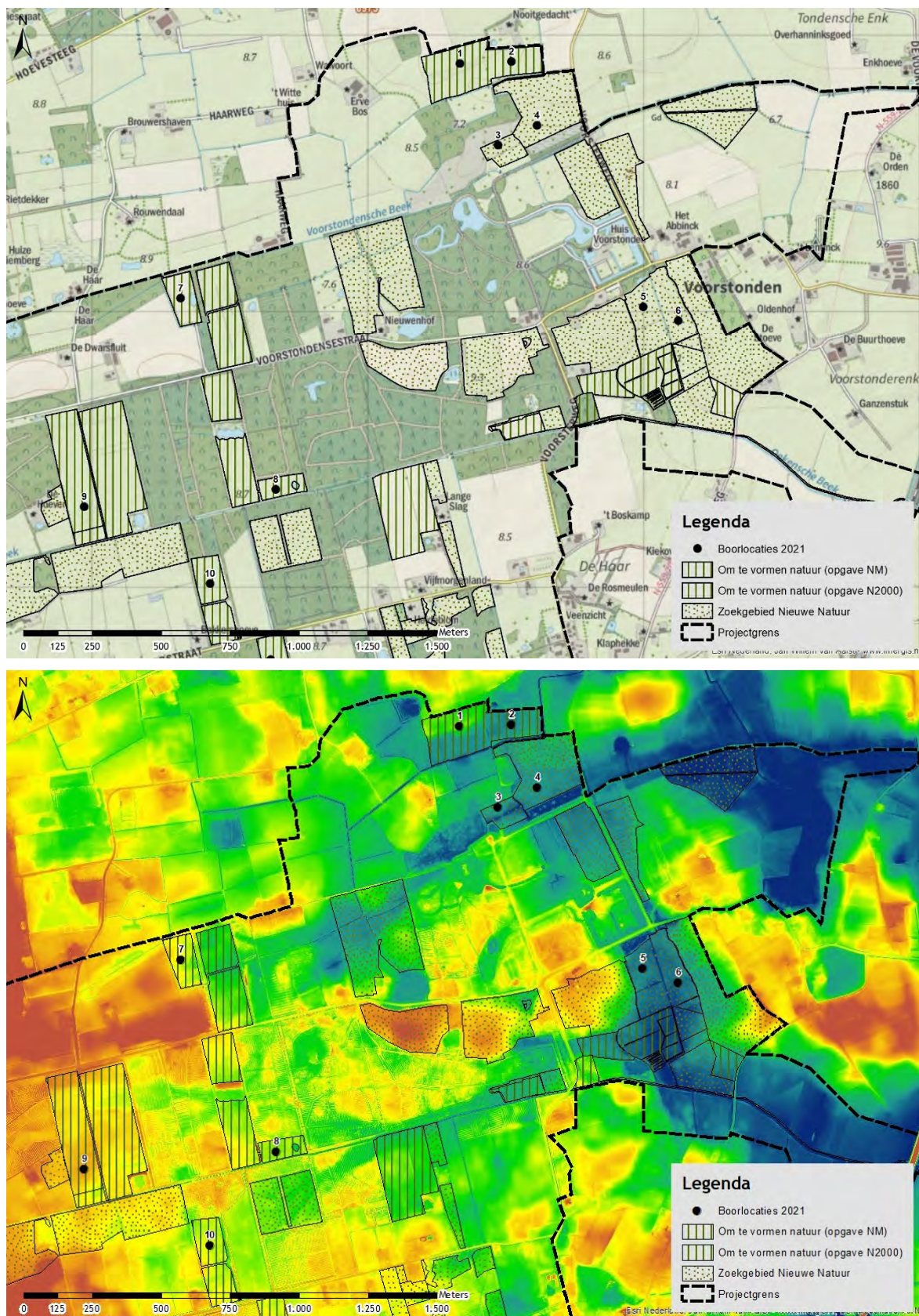
2.2 Chemische analyse

Per bodemonmonster werden vervolgens standaard de volgende variabelen bepaald:

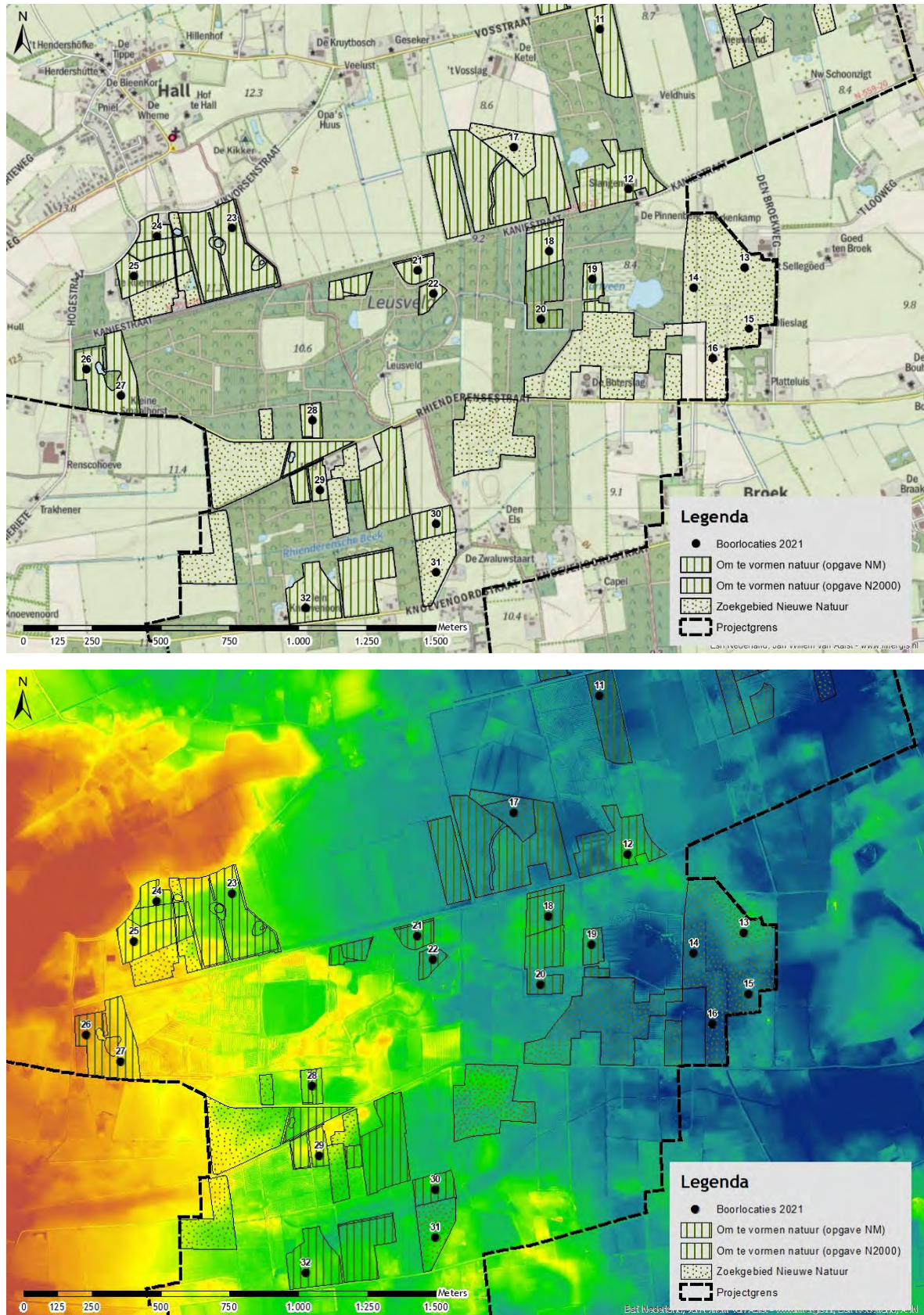
- Olsen-P extractie: een maat voor de concentratie plantenbeschikbaar P;
- Drooggewicht, organisch stofgehalte (gloeiverlies) en bodemdestructie, ter bepaling van de algemene bodemchemie (o.a. totaal-P, -Ca, -Fe, -Al, -Mg, -S).
- Zoutextractie voor de mate van buffering, concentraties beschikbaar stikstof en labiel gebonden P.

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 = 40,5 ml) voor bepaling van de soortelijke massa, konden later ook de concentraties bij benadering 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.



Figuur 2. Topografische kaart (boven) en hoogtekaart (onder) met de ligging van locatie 1 t/m 10 in projectgebied WaardeVOL Brummen.



Figuur 3. Topografische kaart (boven) en hoogtekaart (onder) met de ligging van locatie 11 t/m 32 in projectgebied WaardeVOL Brummen.

Tabel 1. XY-coördinaten, landgebruik (GS = grasland, AK = akker en BO = bos), beknopte omschrijving, actuele grondwaterstand (GWS; 9-11 augustus 2021), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Grondwaterstanden in cm onder maaiveld. Voor ligging van de locaties zie Figuur 2.

LOC.	DATUM	X	Y	LANDGEBRUIK	OMSCHRIJVING	GWS	GHG	GLG
1	9-8-2021	206334	460898	GS	Rijk gemaaid gras	150	115	>150
2	9-8-2021	206524	460903	GS	Rijk gemaaid gras	70	45	90
3	9-8-2021	206474	460600	GS	Ruiger gras	110	75	140
4	9-8-2021	206616	460673	GS	Rijker gras	90	45	120
5	9-8-2021	206996	460017	GS	Rijker gras	110	50	120
6	9-8-2021	207121	459966	GS	Rijker gras	90	55	105
7	9-8-2021	205316	460059	AK	Graanakker, kruidig met perzikkruid en zuring	100	55	120
8	9-8-2021	205665	459355	GS	Kruidiger gras	95	45	110
9	9-8-2021	204970	459293	GS	Ruiger gras	130	75	150
10	9-8-2021	205429	459018	GS	Ruiger gras	70	40	90
11	9-8-2021	205653	458737	GS	Kruidiger gras	80	50	110
12	9-8-2021	205749	458161	GS	Ruiger kruidig gras	>150	150	>150
13	11-8-2021	206172	457873	GS	Rijk gras	>150	120	>150
14	11-8-2021	205988	457801	GS	Rijk gras	100	40	120
15	11-8-2021	206188	457652	GS	Rijker gras	130	85	140
16	11-8-2021	206058	457546	GS	Hoog gras	75	40	90
17	9-8-2021	205334	458314	GS	Rijk gras	80	30	110
18	10-8-2021	205464	457932	GS	Gehooïd gras	120	80	150
19	10-8-2021	205623	457834	GS	Gehooïd gras	130	90	150
20	10-8-2021	205423	457673	BO	Bosgrond	90	40	100
21	9-8-2021	204988	457863	GS	Gehooïd gras	100	40	115
22	9-8-2021	205042	457791	GS	Kruidiger gras	85	50	120
23	10-8-2021	204314	458020	GS	Weidegras	90	50	130
24	10-8-2021	204041	457995	GS	Iets kruidig gras	90	55	130
25	10-8-2021	203954	457844	GS	Schraler gras	120	55	140
26	10-8-2021	203787	457503	GS	Ruiger gras	>150	120	>150
27	10-8-2021	203909	457408	GS	Ruiger weidegras	130	90	150
28	10-8-2021	204603	457320	GS	Ruiger gras	>150	>150	>150
29	10-8-2021	204630	457066	GS	Gehooïd gras	95	40	140
30	10-8-2021	205053	456943	GS	Gehooïd gras	90	55	130
31	10-8-2021	205050	456801	GS	Rijk bemest nieuw gras	110	75	150
32	10-8-2021	204577	456635	GS	Ruiger gras	65	30	90

Olsen-extractie

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

.....

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

Bodemdestructie

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

Zoutextractie (NaCl-extractie)

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

Elementenanalyse (ICP en Auto-analysers)

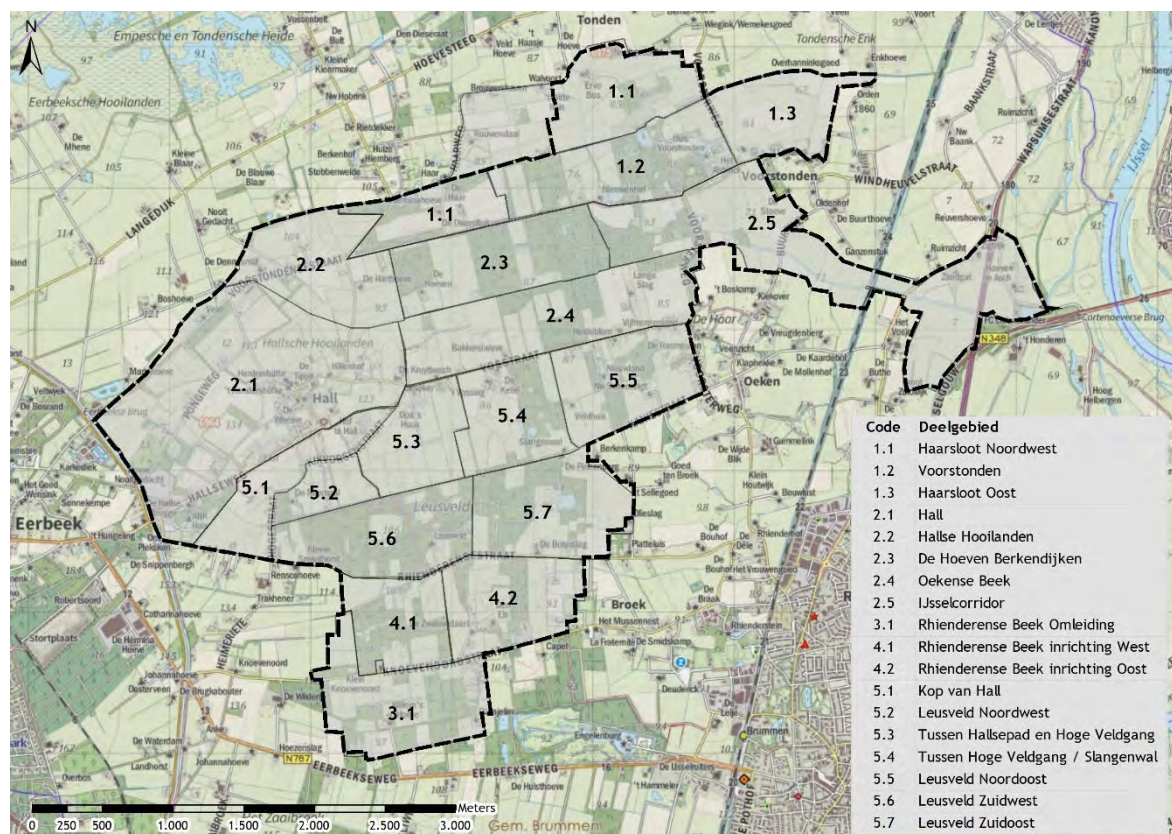
De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in oppervlaktewater, bodemvocht en bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; ARCOS, Thermo Electron Corporation, ICP-OES iCAP 6000). De concentraties nitraat (NO₃⁻) en ammonium (NH₄⁺) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl⁻) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer III systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.

.....

3. RESULTATEN BODEMCHEMISCH ONDERZOEK

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het bodemchemisch onderzoek op de (voormalige) landbouwgronden beschreven. Het projectgebied WaardeVOL Brummen is opgedeeld in 18 verschillende deelgebieden (Figuur 4). In 10 van deze deelgebieden zijn bodemonsters verzameld en geanalyseerd (Tabel 2).

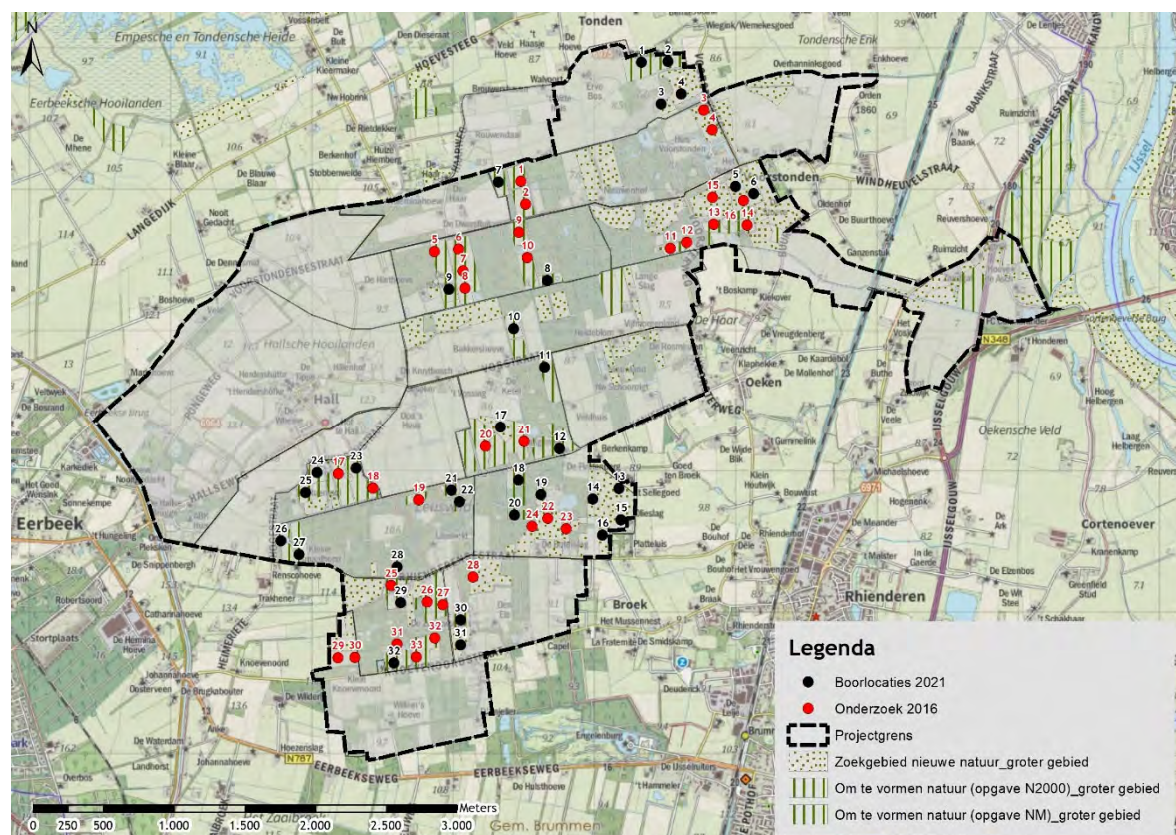


Figuur 4. Indeling van het onderzoeksgebied WaardeVOL Brummen in de verschillende deelgebieden.

Tabel 2. Overzicht van de 10 onderzochte deelgebieden en de bijbehorende locatienummers.

CODE	DEELGEBIED	AANTAL LOCATIES	LOCATIENUMMERS
1.1	Haarsloot Noordwest	5	1,2,3,4,7
2.3	De Hoeven Berkendijken	2	8,9
2.4	Oekense Beek	1	10
2.5	IJsselcorridor	2	5,6
4.1	Rhienderense Beek inrichting West	2	29,32
4.2	Rhienderense Beek inrichting Oost	2	30,31
5.2	Leusveld Noordwest	3	23,24,25
5.4	Tussen Hoge Veldgang / Slangenwal	3	11,12,17
5.6	Leusveld Zuidwest	5	21,22,26,27,28
5.7	Leusveld Zuidoost	7	13,14,15,16,18,19,20
	Totaal	32	

In 2016 is in het kader van de herstelvisie Voorstonden-Leusveld door Onderzoekcentrum B-WARE een bodemchemisch onderzoek uitgevoerd om de kansen voor natuurontwikkeling van een aantal agrarische percelen in beeld te brengen (van Mullekom & Smolders, 2016).



Figuur 5. Kaart van het onderzoeksgebied WaardeVOL Brummen met de ligging van zowel de in 2016 als 2021 onderzochte locaties. Voor resultaten van het in 2016 uitgevoerde bodemchemische onderzoek zie van Mullekom & Smolders (2016).

In paragraaf 3.2 wordt de algemene bodemchemie beschreven. In paragraaf 3.3 wordt de bodemchemie per deelgebied nader toegelicht, de kansen voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur besproken en welke maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.



Figuur 6. Impressie van het onderzoeksgebied. Foto's genomen op locatie 12 (links) en 23 (rechts). Foto's: Jan Vermeer.



Figuur 7. Detailbodemaart van het onderzoeksgebied (boven: locatie 1 t/m 10 en onder locatie 11 t/m 32).

3.2 Bodemchemie

De profielbeschrijvingen van de boorlocaties op de agrarische percelen worden gegeven in Bijlage 2. De onderzochte percelen zijn vrijwel allemaal in gebruik als grasland (Figuur 6), uitgezonderd locatie 7 (graanakker) en 20 (bos; Tabel 1). De dikte van de aangetroffen bouwvoor varieert van 20 tot 65 cm (Bijlage 2). De actuele grondwaterstand (9-11 augustus 2021) varieerde van 65 tot meer dan 150 cm onder maaiveld (Tabel 1). Het grondwaterpeil stond overwegend 20-30 cm hoger dan de uit het bodemprofiel afgeleide GLG (Tabel 1).

Bodemopbouw

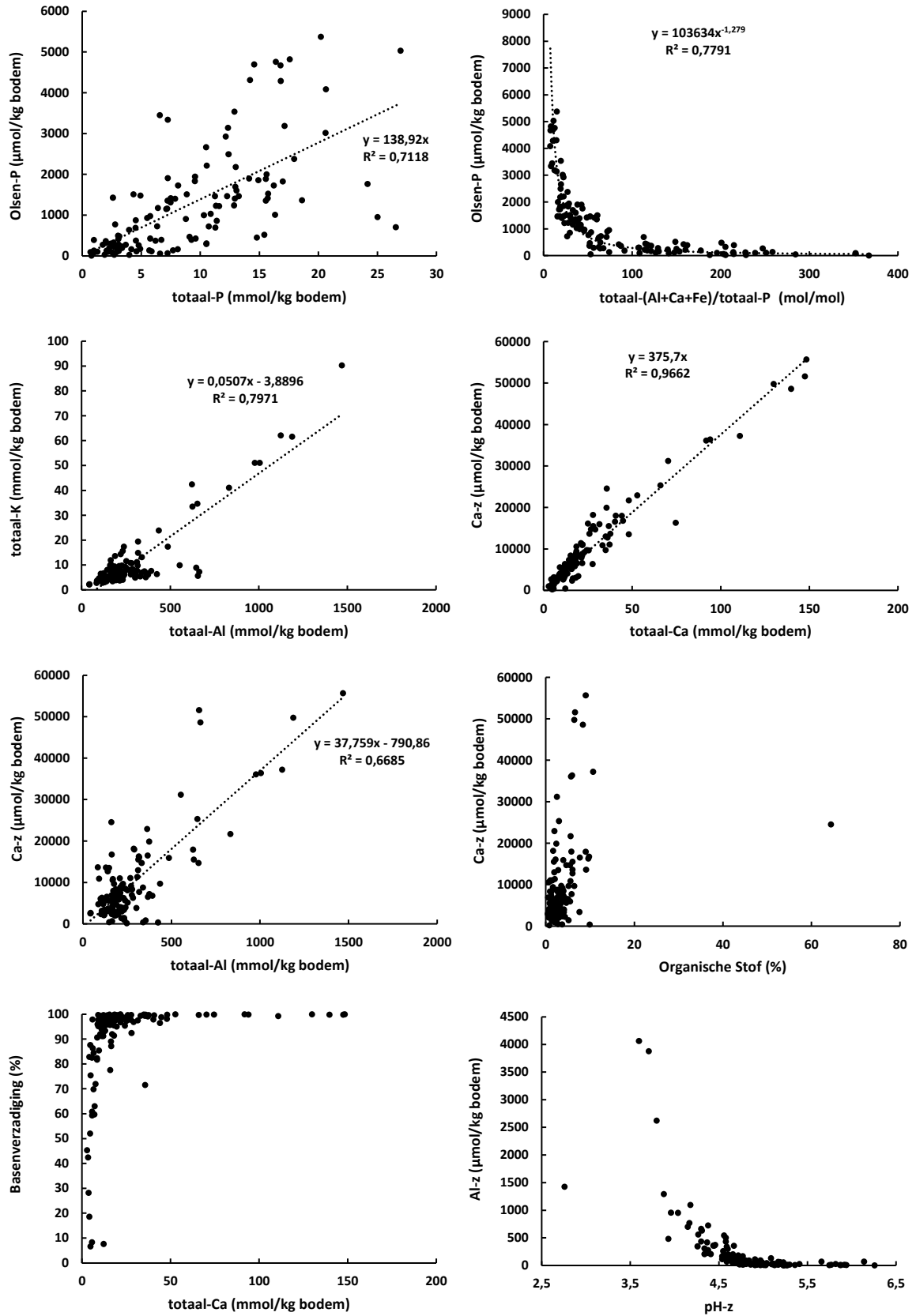
De bodem in het gebied bestaat voornamelijk uit matig tot sterk kleiig zand (Bijlage 2). Op locatie 2, 5, 6, 11, 17 en 24 is (zandige) klei aangetroffen. Op locatie 3, 18, 20, 23 en 31 is een pakket (sterk veraard) veen in het bodemprofiel aanwezig. Van het gebied is een detailbodemkartering beschikbaar (Figuur 7). De bodemopbouw in het gebied varieert sterk, evenals de maaiveldhoogte (Figuur 2 en Figuur 3).

Bodemcorrelaties

In Figuur 8 zijn een aantal relevante bodemchemische variabelen zijn tegen elkaar uitgezet. De fosfaatbeschikbaarheid (concentratie Olsen-P) neemt toe bij een toename van de totale P-voorraad in de bodem (Figuur 8 linksboven), maar de spreiding is groot als gevolg van verschillen in bodemtype (zand, klei en veen) en bodemchemie (variatie in ijzer-, aluminium- en/of calciumconcentraties) of grondgebruik (bemestingsgeschiedenis). De P-beschikbaarheid wordt sterk beïnvloed door de concentraties ijzer-, calcium- en aluminium. Fosfor wordt in bodems namelijk zeer effectief geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzer(hydr)oxiden en door de vorming van ijzerfosfaat zouten zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (onder anaerobe condities) en FePO_4 onder aerobe condities.

Naast ijzer zorgt ook calcium voor fosfaatbinding in de bodem. Dit calcium gebonden-P is meestal slecht oplosbaar en komt slechts zeer langzaam vrij door verweringsprocessen. Ook kleideeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder. De calcium-, ijzer- en aluminiumconcentraties kunnen de beschikbaarheid van fosfaat dus beïnvloeden. In Figuur 8 is deze correlatie weergegeven. Op plaatsen waar de bodem rijk is aan ijzer, calcium en aluminium ten opzichte van totaal-P, blijft de P-beschikbaarheid voor planten doorgaans laag.

Behalve de nutriëntenbeschikbaarheid is de zuurgraad van de bodem in belangrijke mate sturend voor de vegetatieontwikkeling. De buffercapaciteit geeft de mate aan waarin een bodem in staat is te compenseren voor veranderingen in zuurconcentraties. De concentratie totaal-Ca is, net als de concentratie Ca-z, een indicatieve parameter voor het vaststellen van de mate van buffering van een bodem. Bij pH-waarden in de bodem hoger dan pH 6,2 hebben we te maken met (bi)carbonaatbuffering. Wanneer in de bodems geen carbonaat meer aanwezig is, komt de bodem in het kation-uitwisselings-buffertraject terecht. Dit buffertraject bevindt zich globaal tussen een pH van 4,5 en 6,5.



Figuur 8. Correlaties tussen enkele relevante bodemchemische variabelen gemeten in de landbouwbodems. De concentraties zijn, uitgezonderd de pH en basenverzadiging (%), uitgedrukt op basis van kg droge bodem.

Met een zoutextract kan een beeld van de hoeveelheid uitwisselbare kationen verkregen worden. De concentratie uitwisselbaar calcium correleert sterk met de concentratie aluminium en organisch stof in de bodem (Figuur 8). De aluminiumconcentratie is daarbij indicatief voor het lutumpercentage in de bodem. In lutumdeeltjes komen aluminium en kalium in een vaste verhouding voor en de sterke correlatie tussen de concentratie aluminium en kalium (Figuur 8) indiceert de aanwezigheid van lutum in de bodem. Organisch materiaal en lutum vormen een belangrijk deel van het bodemadsorptiecomplex in de bodem, zodat bij een toename van de concentratie organisch stof en/of aluminium (lutum) ook meer kationen als calcium gebonden kunnen worden. Indien het bodemadsorptiecomplex volledig is opgeladen met basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} en K^{+}), is de basenverzadiging 100%. Bodems met een totaal-Ca concentratie van meer dan 20 mmol/kg bodem hebben in het algemeen een hoge basenverzadiging (> 90-95%). Onder de 10 mmol/kg neemt de basenverzadiging fors af. Een groot deel van de geanalyseerde bodems worden gekenmerkt door een hoge basenverzadiging (>80-90%; Figuur 8), maar lokaal is de basenverzadiging van de bodem laag (< 50%; op locatie 12 en 20).

In niet tot zwak gebufferde bodems kan de bodem in de aluminiumbufferrange ($\text{pH} < 4,5$) komen. Alle basische kationen zijn dan vervangen door zuurionen of aluminium (H^{+} en Al^{3+}) en de concentratie zuurionen in het bodemvocht neemt dan toe en de pH zal dalen. Naarmate de pH van de bodem lager wordt neemt de aluminiumconcentratie in het zoutextract toe (Figuur 8). Dit komt omdat aluminiumhydroxiden in oplossing gaan bij een lage bodem pH waarna deze adsorberen aan het bodemadsorptiecomplex. Hoge aluminiumconcentraties zijn vooral gemeten in de zandbodem op locatie 20 (Figuur 3).

Algemene bodemchemie

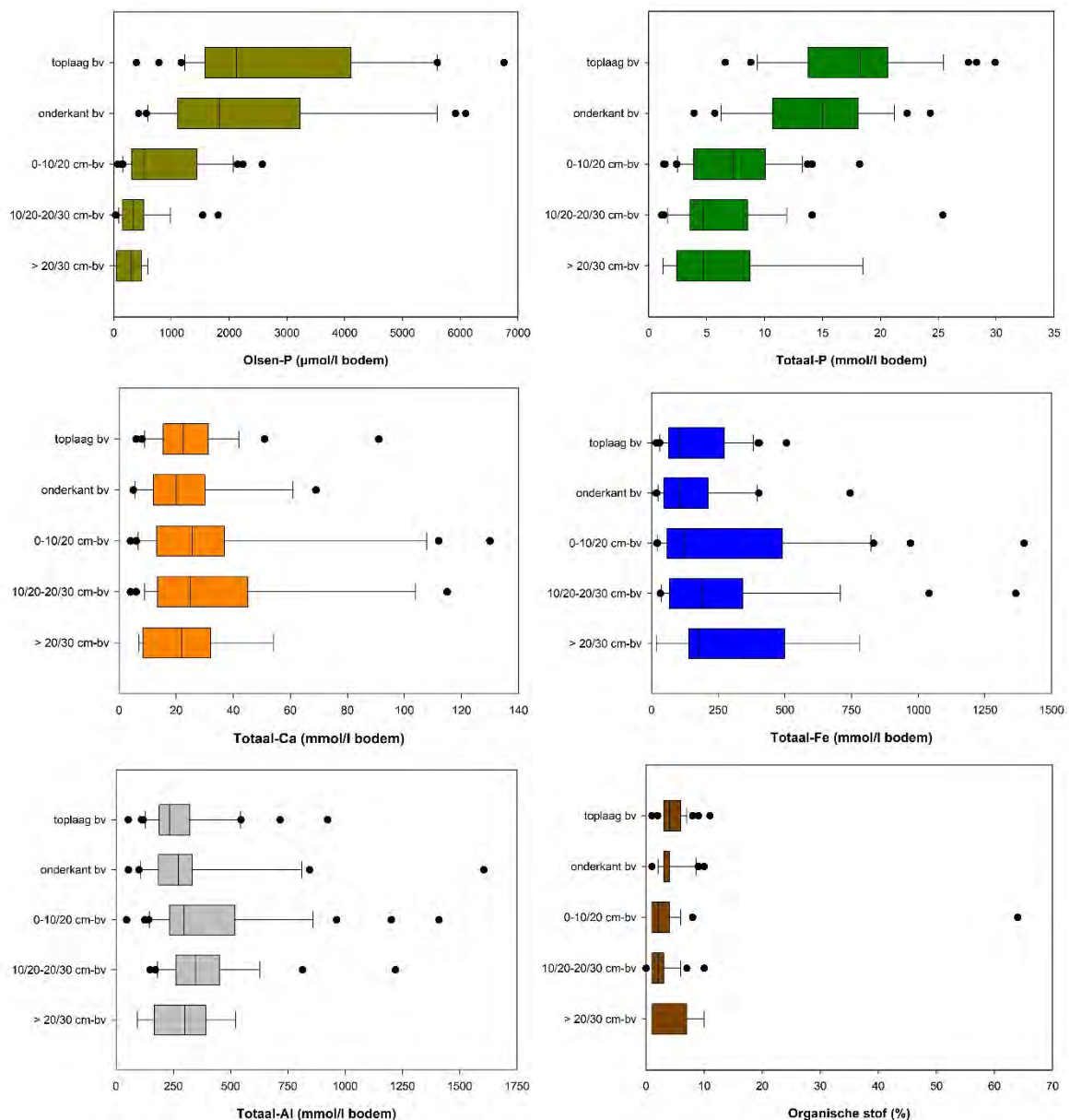
In Figuur 9 en Figuur 10 worden boxplots gegeven voor een aantal belangrijke bodemchemische variabelen op verschillende diepten: toplaag van de bouwvoor, restant van de bouwvoor, 0-10/20 cm onder de bouwvoor, 10/20-20/30 cm onder de bouwvoor en meer dan 20/30 cm onder de bouwvoor.

De toplaag van de bouwvoor (overwegend zand) is matig tot sterk verrijkt met plantbeschikbaar fosfaat (gemiddeld 2807 μmol Olsen-P/l bodem) en totaal-P (gemiddeld 17,6 mmol/l bodem) (Figuur 9). In het restant van de bouwvoor zijn de P-concentraties iets lager (Olsen-P gemiddeld 2447 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 14,3 mmol/l) dan in de toplaag. Direct onder de bouwvoor zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties fors lager dan in de bouwvoor (Olsen-P gemiddeld 827 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 7,4 mmol/l) maar hoger dan 10-20 cm onder de bouwvoor: een indicatie dat er lokaal sprake is van enige uitspoeling van fosfaat vanuit de bouwvoor naar diepere bodemlagen. Dieper onder de bouwvoor nemen de P-concentraties in de bodem nog iets verder af (Figuur 9).

De bodem in het onderzoeksgebied is over het algemeen ijzerrijk met een gemiddelde concentratie totaal-Fe van 233 mmol/l bodem, waarbij de diepere bodemlagen iets rijker zijn aan ijzer (Figuur 9). Hoge ijzerconcentraties kunnen duiden op (voormalige) invloed van ijzerrijke kwel. IJzer(III)(hydr)oxides binden goed fosfor, waardoor fosfor in ijzerrijke bodems sterk kan accumuleren.

De bodem in het onderzoeksgebied is matig calciumhoudend met een gemiddelde concentratie totaal-Ca van 31 mmol /l bodem en $\pm 12.000 \mu\text{mol}$ Ca-z/l bodem. Zowel de concentratie totaal-Ca als uitwisselbaar Ca (Ca-z) neemt onder de bouwvoor licht toe (Figuur 9 en Figuur 10). De concentratie totaal-Al is gemiddeld 356 mmol/l bodem, een indicatie dat de bodems rijk zijn aan lutum in de bodem. Het percentage organische stof van de geanalyseerde bodems is relatief laag

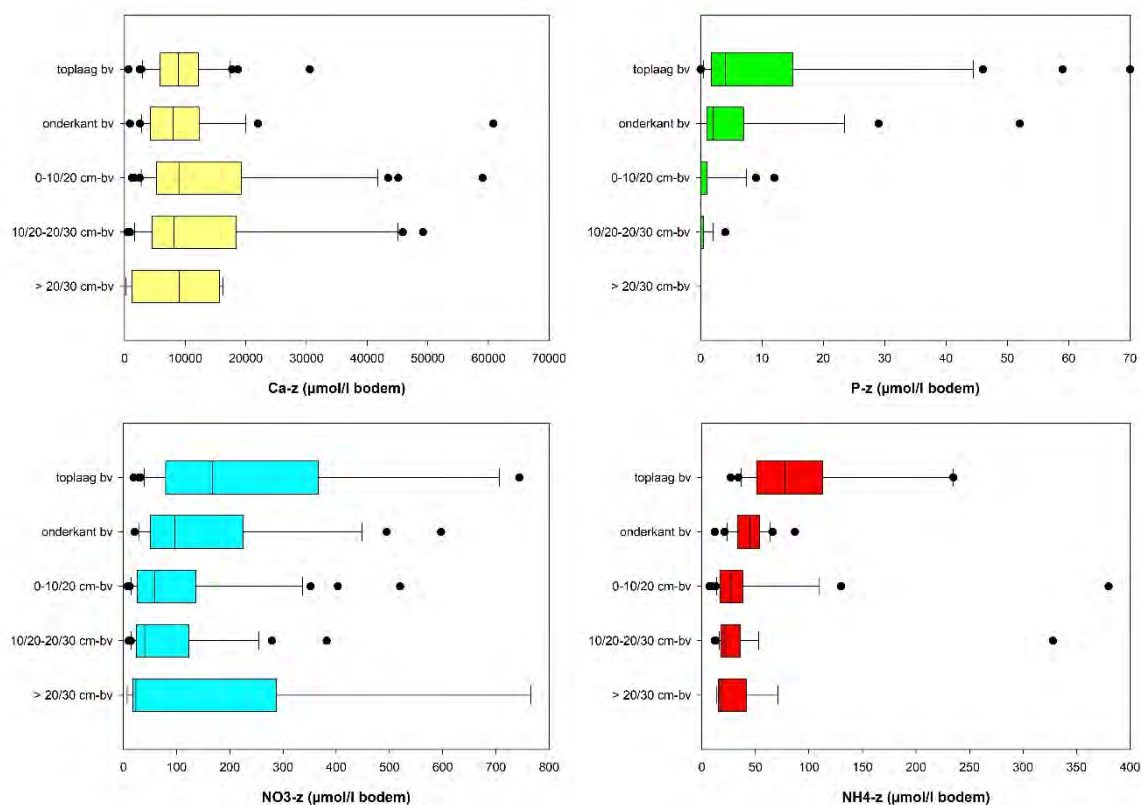
(gemiddeld 4%), uitgezonderd de toplaag van de bodem in het bos op locatie 20 (64% organische stof).



Figuur 9. Boxplots van de Olsen-P, totaal-P, totaal-Ca, totaal-Fe, totaal-Al concentraties en het percentage organische stof van de geanalyseerde landbouwbodems. In de boxplot is onderscheid gemaakt tussen de verschillende bodemlagen: toplaag van de bouwvoor ($n = 34$), restant van de bouwvoor ($n = 23$), 0-10/20 cm-bv ($n = 32$), 10/20-20/30 cm-bv ($n = 29$) en > 20/30 cm-bv ($n = 8$). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitbijters ('outliers') weer.

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

gevolg van uitspoeling en denitrificatieprocessen op een natuurlijke manier uit het systeem verdwijnen (zie Bijlage 1). 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 wordt geoxideerd door nitraat en neerslaat in de bodem. Ijzerrijk grondwater is vaak positief voor de ontwikkeling van natte natuurtypen omdat ijzer fosfaat kan immobiliseren. Daarnaast kan nitraat de afbraak van veen stimuleren en leiden tot sulfaatmobilisatie wanneer nitraatrijk grondwater in contact komt met pyriethoudende (FeS_x) bodemlagen. De nitraat- en ammoniumconcentraties zijn gemeten in de zoutextracten. De gemiddelde nitraatconcentratie in de toplaag van de bouwvoor is $286 \mu\text{mol/l}$, waarbij op locatie 15 zeer hoge nitraatconcentraties in het zoutextract zijn gemeten ($> 1000 \mu\text{mol/l}$ bodem). De nitraatconcentratie neemt af in de diepte (Figuur 10). De ammoniumconcentratie in de toplaag van de bouwvoor is gemiddeld $185 \mu\text{mol/l}$ en neemt ook duidelijk af in de diepte. Onder droge condities kunnen, als gevolg van N-limitatie (nitraatconcentratie $< 50\text{-}100 \mu\text{mol/l}$ bodem) en/of droogtestress, kruidenrijkere graslanden tot ontwikkeling komen op P-rijkere bodems. Onder vochtige condities is P-limitatie vereist.



Figuur 10. Boxplots van de Ca-zout, P-zout, NO_3 -zout en NH_4 -zout concentraties van de geanalyseerde landbouwbodems. In de boxplot is onderscheid gemaakt tussen de verschillende bodemlagen: toplaag van de bouwvoor ($n = 34$), restant van de bouwvoor ($n = 23$), 0-10/20 cm-bv ($n = 32$), 10/20-20/30 cm-bv ($n = 29$) en $> 20/30$ cm-bv ($n = 8$). Voor nadere uitleg over de boxplots zie het bijschrift van Figuur 9.

In het zoutextract zijn relatief lage concentraties labiel P gemeten (gemiddeld $12 \mu\text{mol/l}$ in de toplaag van de bouwvoor). De P-z concentratie neemt duidelijk af in de diepte (Figuur 10). In referentiegebieden worden veelal P-z concentraties $< 1\text{-}2 \mu\text{mol/l}$ gemeten.

3.3 Natuurpotenties per deelgebied

In deze paragraaf worden per deelgebied de belangrijkste bodemchemische variabelen gepresenteerd en beknopt toegelicht. Welke (natte) natuurbeheertypen zich daadwerkelijk 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. De hydrologische omstandigheden in de verschillende deelgebieden maken, uitgezonderd de uit het bodemprofiel afgeleide GHG en GLG, geen deel uit van het onderzoek.

Tabel 3. Gemiddelde hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand, pH-H₂O en fosfaatconcentraties in de bodem van enkele natte (grondwaterafhankelijke) natuurbeheertypen (optimumranges). Droge natuurbeheertypen, zoals droge heide en droog heischraal grasland, zijn niet afhankelijk van grondwaterinvloed. Bronnen: Ertsen e.a. (2005); Onderzoekcentrum B-WARE, niet gepubliceerde data; De Becker (2004). Onder zeer ijzerrijke omstandigheden kunnen bij een optimale ontwikkeling ook hogere fosforconcentraties voorkomen (aangegeven tussen haakjes).

Natuurbeheertype	Specificatie	GHG (cm)	GLG (cm)	pH-H ₂ O	Olsen-P (µmol/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)
	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	-	-
	Berkenbroekbos	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
Hoog- en laagveenbos	Elzenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)

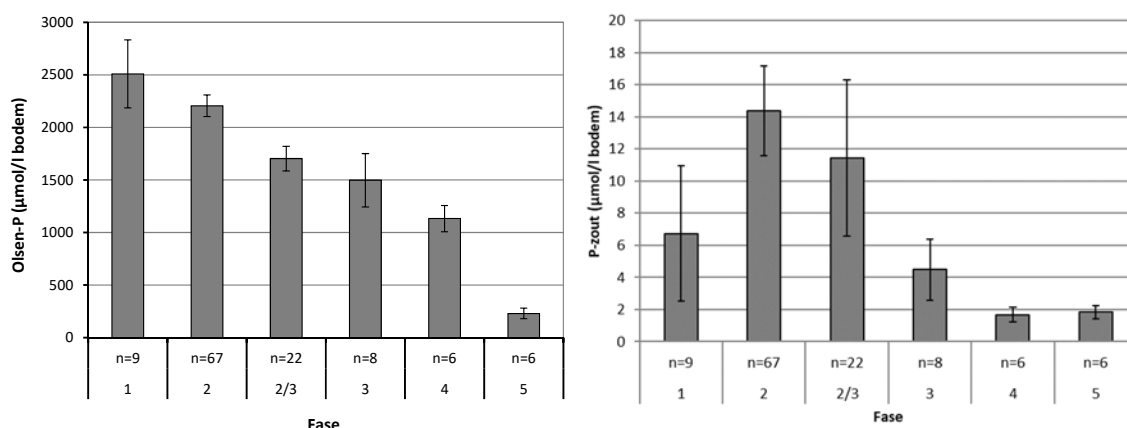
Natuurbeheertypen

In Tabel 3 staan voor een groot aantal natte natuurbeheertypen de abiotische randvoorwaarden aangegeven. Voorwaarde bij de ontwikkeling van soortenrijke voedselarme systemen blijft de lage fosfaatbeschikbaarheid voor planten. De metingen van de Olsen-P (en totaal-P) concentraties zijn dan ook in belangrijke mate leidend in de natuurontwikkelingskansen.

Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurtypen worden de volgende Olsen-P streefconcentraties gehanteerd (de totaal-P concentratie kan sterk variëren afhankelijk van de ijzer- en calciumconcentraties en/of de kleigehoud van de bodem):

- Heide: 100-500 µmol/l bodem (totaal-P <2-3 mmol/l bodem);
- Schraalgrasland: (<)300-500 µmol/l bodem (optimaal <300 µmol/l bodem);
- Dotterbloemhooiland/vochtig hooiland: 300-800/900 µmol/l bodem (optimaal <500 µmol/l bodem).

Op locaties waar onvoldoende verschaald kan worden voor de ontwikkeling van heide, schraalland en/of vochtig hooiland, kan de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland overwogen worden. Uit recent onderzoek blijkt dat in de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is ($< 900\text{--}1200\text{ }\mu\text{mol/l}$; Figuur 11 en Figuur 12). 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 ($P\text{-}z < 1\text{--}2\text{ }\mu\text{mol/l}$; Figuur 11) en ook de nitraatconcentratie laag is ($< 100\text{--}200\text{ }\mu\text{mol/l}$).



Figuur 11. Olsen-P (links) en P-z (rechts) concentratie in $\mu\text{mol/l}$ bodem van graslandpercelen in Overijssel ingedeeld per graslandfase naar Schippers e.a. (2012). Verklaring graslandfasen (van voedselrijk naar schraal): fase 1 = raaigraslanden, fase 2 = witbolgraslanden, fase 3 = gras-kruidenmix, fase 4 = kruidenrijk grasland en fase 5 = heischraal grasland. Bron: Scherpenisse e.a. (2017).



Figuur 12. Foto's van goed ontwikkelde vochtige kruidenrijke graslanden op venige bodems bij Doetinchem en Wolvega. Foto's: Mark van Mullekom.

.....

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.

Op droge, voedselrijkere zandgronden kunnen kruidenrijkere graslanden ook 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). Bureau Natuurbalans heeft op P-rijke droge gronden goede ervaringen met de omvorming naar kruidenrijk grasland door middel van chopperen in combinatie met het inzaaien van een gras-/kruidenmengsel. Door te chopperen wordt de dichte, soortenarme graszode verwijderd en ruimte gecreëerd voor de kieming van de doelsoorten. Na het chopperen wordt een zaadmengsel bestaande uit zowel inheemse grassen als kruiden opgebracht. Dit bevindt zich nog in een experimenteel stadium en aanvullend onderzoek moet uitwijzen hoe hier meer op gestuurd kan worden en onder welke condities deze maatregel wel of juist niet kansrijk is. Waarschijnlijk speelt hierbij N-limitatie (NO_3^- -z concentraties $<50\text{--}100\ \mu\text{mol/l}$) en/of K-limitatie een belangrijke rol.

Bodembuffering

Naast de P-beschikbaarheid en hydrologische omstandigheden bepaalt de mate van bodembuffering in sterke mate welke natuurbeheertypen tot ontwikkeling kunnen komen (Tabel 4). Om inzicht te krijgen in de bodembuffercapaciteit is van alle bodems de totale calciumconcentratie en de concentratie zoutuitwisselbaar calcium bepaald.

Op calciumarme bodems ontwikkelt zich een heide (zeer indicatief: $\text{Ca-t} < 10\ \text{mmol/l}$ en $\text{Ca-z} < 4.000\ \mu\text{mol/l}$). Op zure bodems ($\text{pH-z} < 3,5$, $\text{Ca-z} < 1500\ \mu\text{mol/l}$, $\text{Al/Ca-ratio} > 2$ en $\text{NH}_4\text{-z} > 200\ \mu\text{mol/l}$) zal alleen een soortenarme heide tot ontwikkeling kunnen komen. Op zwak-calciumhoudende bodems ($\text{Ca-tot} > 10\ \text{mmol/l}$ en $\text{Ca-z} 4.000\text{--}8.000\ \mu\text{mol/l}$) ligt de ontwikkeling van een heischraal grasland voor de hand mits er voldoende aanrijking met basen plaatsvindt via capillaire opstijging. Voor een soortenrijk droog heischraal grasland kunnen de volgende grenswaarden worden gehanteerd: $\text{Ca-z} 4.000\text{--}8.000\ \mu\text{mol/l}$, $\text{pH-z} > 3,5$, $\text{Al/Ca} < 1\text{--}2$ en basenverzadiging $> 30\%$. Op de meer gebufferde bodems ($\text{Ca-z} 8.000\text{--}30.000\ \mu\text{mol/l}$) kan onder de juiste hydrologische omstandigheden (essentieel!) een blauwgrasland of veldrusschraalland tot ontwikkeling komen. Op sterk gebufferde bodems ($\text{Ca-z} > 20.000\text{--}50.000\ \mu\text{mol/l}$) kan onder vochtige tot natte omstandigheden een dotterbloemhooiland (of Elzenbroekbos) tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een kamgrasweide/glanshaverhooiland).

Op locaties waar sprake is van calciumarme omstandigheden (totaal-Ca $< 10\ \text{mmol/l}$ en/of $\text{Ca-z} < 4.000\ \mu\text{mol/l}$) kan op minerale zandbodems een eenmalige bekalking met $2.000\ \text{kg Dolokal/ha}$ worden overwogen. Deze dient ter voorkoming van verzuring en ter bevordering van de soortenrijkdom. Tevens wordt hiermee ammoniumophoping/-toxiciteit voorkomen (nitrificatie wordt geremd onder zure omstandigheden). Op kaliumarme locaties ($\text{K-z} < 250\ \mu\text{mol/l}$) kan dit worden gecombineerd met een kali-houdend steenmeel ($1.000\ \text{kg/ha}$) zoals bijvoorbeeld Vulkamin.

[illegible]

Uit het bodemchemisch onderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied de gevolgen van het

De verspreidingsduur voor meen en afvoeren is berekend op basis van het verschil tussen de

20

.....

van het totaal-P is beschikbaar P), dan is bij een streefwaarde van 500 $\mu\text{mol Olsen-P/l}$ de streefwaarde voor totaal-P 5 mmol/l ($((0,5/10) \times 100)$). Stel dat bij een ijzer- en kalkrijke bodem de actuele P-fractie slechts 0,05 is (5% van de totale P voorraad is beschikbaar), dan is de streefwaarde voor totaal-P 10 mmol/l ($((0,5/5) \times 100)$). Er is bij de berekening wel vanuit gegaan dat de fractie beschikbaar P gedurende de verschrallingsperiode gelijk blijft. Wanneer we hiervoor zouden corrigeren (veranderende (Ca+Fe)/P-ratio) valt de verschrallingsduur 10-20% lager uit. Het is echter te verwachten dat de effectiviteit van de verschralling in de laatste fase afneemt, waardoor de P-afvoer van 10 kg/ha/jaar niet meer wordt gehaald en de verschrallingsduur 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. Verschrallen via uitmijnen verloopt ca. 4 keer zo snel dan verschrallen via maaien en afvoeren (zie Bijlage 1)

Voor iedere locatie en bodemlaag is de verschrallingsduur via maaien en afvoeren berekend voor voor een Olsen-P streefconcentratie van zowel 300, 500 als 800 $\mu\text{mol/l}$. 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.

Deelgebied 1.1 Haarsloot Noordwest (locaties 1, 2, 3, 4 en 7)

In deelgebied Haarsloot Noordwest (code 1.1 in Figuur 4) is de bodemchemische samenstelling op 5 locaties (locatie 1 t/m 4 en 7) bepaald (Tabel 5). De GHG in dit deelgebied varieert van 45-115 cm-mv en de GLG van 90 tot meer dan 150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (30-40 cm dik) is matig tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1540-2292 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 13,0-21,2 mmol/l; Tabel 5). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 65 tot 125 jaar. De bodem in deelgebied 1.1 is ijzerrijk (Fe-t: 92-761 mmol/l) en zwak tot matig gebufferd (Ca-t: 11-43 mmol/l en Ca-z: ± 4.000 -27.500 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 5).

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- Locatie 1: de bodem is tot op 50 cm diepte verrijkt met fosfaat. Het advies is 20 cm afgraven (Olsen-P: 1828 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 18,9 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 20 jaar) voor de ontwikkeling van een (droog) kruiden- en faunairijk grasland (Ca-t: 21 mmol/l, Ca-z: ± 5.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 127 mmol/l). Er zijn voorbeelden van de ontwikkeling van droge kruidenrijke graslanden onder P-rijke omstandigheden. Waarschijnlijk speelt stikstoflimitatie en/of droogtestress hierbij een belangrijke rol. De nitraatconcentraties in het zoutextract van de toplaag van de bouwvoor zijn echter nog hoog (316 $\mu\text{mol/l}$). Mogelijk kan via tijdelijk akkeren of door middel van maaien en afvoeren op termijn een droog kruidenrijk(er) grasland ontwikkeld worden zonder afgraven.
- Locatie 2: 35 cm afgraven (Olsen-P: 136 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 4,1 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland/blauwgrasland (Ca-t: 26 mmol/l, Ca-z: ± 8.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 140 mmol/l).
- Locatie 3: 35 cm afgraven (Olsen-P: 350 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 5,1 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 38 mmol/l, Ca-z: ± 24.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 185 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 105 cm-mv en GHG 40 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland worden ontwikkeld.

Tabel 5. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 1, 2, 3, 4 en 7 (deelgebied 1.1). HZT = horizont; 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/M12 = berekende verschrallingsduur (in jaren) via maaien en afvoeren (tot een streefconcentratie van 300/500/800/1200 µmol Olsen-P /l) (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De Olsen-P en zoutuitwisselbare concentraties zijn weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO ₃ -z	Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	µmol/l	µmol/l	jaren	
<5	<150	<10	<4000	<20	<5	<50	0	voldoende P-arm
6-10	151-250	10-20	4001-8000	21-50	2-5	51-100	<10	kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	8001-15000	51-100	6-10	101-200	11-40	matig kansrijk voor verschralling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	401-750	31-50	15001-25000	101-150	11-30	201-400	41-80	kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
>50	>750	51-80	25001-40000	151-300	31-50	401-800	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschralling d.m.v. uitmijnen
		>80	>40000	>300	51-100	801-1200	201-400	ongeschikt voor verschralling I
					>100	>1200	>400	ongeschikt voor verschralling II

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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	>150	115	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	3	16	1,2	2272	21,2	0,11	263	23	113	6	9	30	6	0,11	210	9321	0,02	104	1389	4,8	91	2	316	1250	114	103	86	63	
			20 - 30	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	3	13	1,2	1828	18,9	0,10	333	21	127	8	13	35	4	0,07	157	8378	0,02	91	1218	5,1	97	3	196	87	49	43	33	20	
			30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	B	3	12	1,2	1056	14,1	0,08	298	13	107	9	9	25	3	0,07	96	4910	0,02	86	687	4,7	96	1	97	63	31	23	11	7	
			40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	B	3	14	1,3	943	14,1	0,07	273	11	92	7	6	18	2	0,08	17	4004	0,00	103	495	5,0	82	2	101	1838	30	21	7	6	
2	90	45	0 - 20	klei, sterk zandig, matig humeus, bv	Ap	6	19	1,1	1616	18,0	0,09	717	32	283	17	38	115	8	0,05	386	17731	0,02	146	4980	4,6	92	5	250	2251	82	78	57	29	
			20 - 35	klei, sterk zandig, matig humeus, bv	Ap	5	18	1,2	1568	18,1	0,09	759	34	295	18	40	123	7	0,05	356	17049	0,02	120	4763	4,3	97	1	125	45	69	58	42	20	
			35 - 45	zand, matig siltig, zwak grindig	C	1	10	1,6	136	4,1	0,03	413	26	140	41	14	43	1	0,01	261	8360	0,03	109	2187	4,7	96	0	36	27	8	8	8	5	
			45 - 55	zand, matig siltig, zwak grindig	C	1	15	1,6	206	8,9	0,02	443	43	174	24	17	96	0	0,00	143	9839	0,01	108	2504	5,0	98	1	90	30	8	8	8	5	
3	140	75	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	6	16	1,0	1590	13,0	0,12	317	16	139	12	19	41	6	0,11	140	7644	0,02	68	3544	4,6	97	1	462	99	63	56	40	20	
			20 - 35	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	4	15	1,2	1103	10,7	0,10	532	30	212	23	29	81	5	0,05	432	11807	0,04	80	4399	4,7	95	1	244	47	36	28	14	0	
			35 - 45	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	13	1,5	350	5,1	0,07	488	38	185	44	23	68	3	0,02	119	24628	0,00	146	6000	4,8	97	0	171	1255	2	8	8	8	5
			45 - 55	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	14	1,5	151	3,4	0,04	438	43	183	67	13	32	1	0,02	30	21670	0,00	186	5326	4,8	100	0	79	18	8	8	8	5	
4	120	45	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	9	21	0,9	1540	21,2	0,07	545	39	349	18	37	90	13	0,10	303	15684	0,02	102	4765	4,3	96	2	164	112	107	59	64	29	
			20 - 40	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	6	17	1,0	701	11,5	0,06	845	49	402	39	42	141	6	0,03	263	21998	0,01	122	4926	4,6	98	1	161	34	41	21	0	0	
			40 - 50	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	4	16	1,3	488	8,4	0,06	609	40	347	46	22	90	4	0,03	258	19910	0,01	114	3679	4,3	98	1	108	130	10	0	0	0	
			50 - 60	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	12	1,6	187	5,0	0,04	358	30	352	76	12	33	1	0,02	175	15122	0,01	122	2605	4,7	98	0	24	36	8	8	8	5	
7	120	55	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	5	20	1,2	2292	18,9	0,12	276	31	201	12	12	19	8	0,16	15	11708	0,00	208	4596	5,2	99	14	430	234	99	12	77	56	
			20 - 40	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	4	17	1,5	2457	18,8	0,13	312	28	284	17	10	18	7	0,15	68	12264	0,01	182	2864	5,2	99	1	225	56	89	54	79	69	
			40 - 55	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	12	1,6	401	7,5	0,05	330	28	761	106	15	26	2	0,04	18	13739	0,00	303	2737	5,1	100	0	126	34	9	0	0	0	
			55 - 65	zand, zwak siltig	C	1	13	1,6	161	2,1	0,08	272	30	205	111	16	31	0	0,00	4	17041	0,00	163	3269	5,3	100	0	113	21	0	0	0	0	

- **Locatie 4:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 701 µmol/l en P-t: 11,5 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 49 mmol/l, Ca-z: ± 22.000 µmol/l en Fe-t: 402 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 100 cm-mv en GHG 25 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland worden ontwikkeld.
- **Locatie 7:** 40 cm afgraven (Olsen-P: 401 µmol/l en P-t: 7,5 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 28 mmol/l, Ca-z: ± 13.500 µmol/l en Fe-t: 761 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 80 cm-mv en GHG 15 cm-mv). Onder drogere condities kan een heischraal grasland of glanshaverhooiland worden ontwikkeld.

Deelgebied 2.3 De Hoeven Berkendijken (locatie 8 en 9)

In 2016 werd in deelgebied De Hoeven Berkendijken (code 2.3 in Figuur 4) op 6 locaties (locatie 5 t/m 10; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locaties bleken kansrijk voor de ontwikkeling van een heischraal grasland, blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na afgraven van 0 tot 45 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 2 locaties (8 en 9) bepaald (Tabel 6). De GHG in dit deelgebied varieert van 45-75 cm-mv en de GLG van 110-150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (30-45 cm dik) is matig tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1940-4062 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,8-11,4 mmol/l; Tabel 6). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 45 tot 60 jaar. De bodem in deelgebied 2.3 is op locatie 8 ijzerrijk en matig-goed gebufferd, maar op locatie 9 juist ijzerarm en slecht gebufferd (Tabel 6).

Tabel 6. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties locatie 8 en 9 (deelgebied 2.3). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
8	110	45	0 - 15	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	4	16	1,3	1940	11,4	0,17	220	23	98	11	6	14	4	0,11	75	10214	0,01	73	730	4,9	98	3	35	91	39	39	31	20
			15 - 30	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	3	15	1,4	1851	9,9	0,19	246	21	108	13	6	15	3	0,09	88	9660	0,01	80	568	5,2	98	0	29	74	32	32	26	16
			30 - 45	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	2	17	1,6	1079	7,1	0,15	288	22	137	22	7	19	3	0,06	82	9713	0,01	93	732	4,9	98	1	30	58	19	18	9	8
			45 - 55	zand, sterk kleilig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	13	1,6	318	5,6	0,06	306	25	323	62	15	32	0	0,00	18	13726	0,00	269	3645	5,2	100	0	8	39	1	8	0	0
9	150	75	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, omgewerkte podzol	Ap	3	11	1,2	4062	8,8	0,46	53	6	17	3	3	0	3	0,53	586	3048	0,19	33	686	3,9	75	59	84	87	36	36	36	36
			20 - 30	zand, zwak siltig, matig humeus, omgewerkte podzol	Ap	3	10	1,2	4233	8,1	0,52	54	5	19	3	3	0	2	0,39	439	3228	0,14	31	852	4,4	83	52	90	33	16	16	16	16
			30 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, inspoelingshorizont	B	2	10	1,3	1904	3,5	0,54	143	8	20	8	5	4	1	0,11	580	4191	0,14	30	996	4,3	83	4	73	29	2	2	2	2
			40 - 50	zand, zwak siltig, matig humeus, inspoelingshorizont	B	2	9	1,3	497	1,3	0,39	230	9	37	36	6	10	1	0,06	811	2668	0,30	34	566	4,3	70	0	28	13	0	0	0	0

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 8:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 1079 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 7,1 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 18 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland/blauwgrasland (Ca-t: 22 mmol/l, Ca-z: 9.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 137 mmol/l) of 45 cm afgraven voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t: 25 mmol/l, Ca-z: 13.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 323 mmol/l). De grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn hierbij wel een aandachtspunt.
- **Locatie 9:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 1904 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 3,5 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (minimaal 2 jaar maaien en afvoeren; mogelijk langer tot totaal-P <2-2,5 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heide of eventueel een heischraal grasland (Ca-t: 8 mmol/l, Ca-z: $\pm$ 4.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 20 mmol/l). De verwachting is dat gezien de lage P-voorraad in de bodem de P-beschikbaarheid snel zal afnemen (relatieve P-beschikbaarheid is op deze locatie zeer hoog; ca. 50%; Tabel 6). Alternatief is het afgraven van 40 cm (Olsen-P: 497 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 1,3 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t: 9 mmol/l, Ca-z: $\pm$ 2.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 37 mmol/l).

Deelgebied 2.4 Oekense Beek (locatie 10)

In deelgebied Oekense Beek (code 2.4 in Figuur 4) is de bodemchemische samenstelling alleen op locatie 10 bepaald (Tabel 7). De GHG op deze locatie ligt op 40 cm-mv en de GLG 90 cm-mv (Tabel 3). De bouwvoor is slechts 20 cm dik en licht verrijkt met P (Olsen-P: 1168 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 19,0-21,2 mmol/l; Tabel 7). Via maaien en afvoeren is de verschrallingsduur van de toplaag van de bodem (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 68 jaar. De bodem op locatie 10 is ijzerrijk (Fe-t: 150-971 mmol/l) en matig tot goed gebufferd (Ca-t: 31-57 mmol/l en Ca-z: $\pm$ 15.500-30.000 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 7).

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke toplaag af te graven (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 10:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 237 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 12,2 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 54 mmol/l, Ca-z: $\pm 30.000 \mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 971 mmol/l). De grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld zijn hierbij wel een aandachtspunt.

Tabel 7. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocatie 10 (deelgebied 2.4). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
10	90	40	0 - 20	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	5	20	1,2	1168	19,0	0,06	385	31	404	23	6	22	7	0,13	191	17056	0,01	121	2041	4,5	98	1	144	51	88	68	37	0
			20 - 35	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	16	1,5	237	12,2	0,02	567	54	971	84	10	35	3	0,04	103	29998	0,00	171	5494	4,6	99	0	52	22	0	0	0	0
			35 - 50	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	15	1,5	93	4,2	0,02	481	57	319	89	12	39	1	0,01	77	23748	0,00	131	4542	4,7	99	0	21	16	0	0	0	0
			50 - 60	zand, zwak siltig	C	1	17	1,4	73	9,5	0,01	300	54	150	21	13	58	1	0,01	63	15753	0,00	72	2796	4,7	99	0	31	16	0	0	0	0

Deelgebied 2.5 IJsselcorridor (locatie 5 en 6)

In 2016 werd in deelgebied IJsselcorridor (code 2.5 in Figuur 4) op 6 locaties (locatie 11 t/m 16; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). Locatie 11, 12, 13, 14 en 16 bleken kansrijk voor de ontwikkeling van blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na afgraven van 15 tot 40 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer. De bodem op locatie 15 was tot op grote diepte verrijkt met P en het advies was om de toplaag droog te houden en door middel van maaien en afvoeren op de lange termijn een kruidenrijk grasland te ontwikkelen (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 2 locaties (5 en 6) bepaald (Tabel 8). De GHG in dit deelgebied varieert van 50-55 cm-mv en de GLG van 105-120 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (30-35 cm dik) is licht tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 780-2128 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 17,2-20,5 mmol/l; Tabel 8). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 50 tot 100 jaar. De bodem in deelgebied 2.5 is ijzerrijk (Fe-t: 126-797 mmol/l) en zwak tot sterk gebufferd (Ca-t: 18-162 mmol/l en Ca-z: ± 8.000 -60.500 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 8).

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 5:** 35 cm afgraven (Olsen-P: 505 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 11,5 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 112 mmol/l, Ca-z: 43.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 505 mmol/l) op klei, mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 85 cm-mv en GHG 15 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland tot ontwikkeling komen (relatief soortenarm i.v.m. de sterk kleiige bodem).
- **Locatie 6:** zode verwijderen (voor het creëren van vestigingsplaatsen voor doelsoorten; Olsen-P: 780 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 20,5 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 91 mmol/l, Ca-z: 30.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 506 mmol/l) op klei, mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 105 cm-mv en GHG 55 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland tot ontwikkeling komen (relatief soortenarm i.v.m. de sterk kleiige bodem).

Tabel 8. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 5 en 6 (deelgebied 2.5). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
5	120	50	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	13	1,1	2128	17,2	0,12	240	18	126	8	9	25	4	0,10	84	8232	0,01	103	2300	4,7	98	631	27	89	82	67	47	
			20 - 35	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	2	14	1,4	1764	16,3	0,11	293	19	143	10	11	32	3	0,06	136	8440	0,02	131	2306	4,7	97	495	27	63	55	42	25	
			35 - 45	klei, sterk siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	6	24	1,2	505	11,5	0,04	1202	112	505	54	61	222	7	0,02	17	43455	0,00	274	8775	4,9	100	297	15	15	0	0	0	
			45 - 55	klei, sterk siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	6	24	1,2	485	11,6	0,04	1220	115	540	57	64	221	7	0,02	6	45034	0,00	270	7605	5,1	100	231	17	14	0	0	0	
6	105	55	0 - 20	klei, matig zandig, matig humeus, sterk siltig, bv	Ap	11	27	0,8	780	20,5	0,04	924	91	506	29	51	188	13	0,05	126	80582	0,00	157	9876	4,6	99	744	81	79	46	0	0	
			20 - 30	klei, matig zandig, matig humeus, sterk siltig, bv	Ap	9	27	1,1	564	16,9	0,03	1605	162	745	54	99	324	11	0,02	17	60812	0,00	192	11881	5,0	100	322	12	25	6	0	0	
			30 - 45	klei, sterk siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	6	24	1,2	158	9,1	0,02	1410	154	797	104	73	248	4	0,01	30	59044	0,00	192	10664	5,2	100	233	7	0	0	0	0	
			45 - 55	klei, matig zandig	C	2	16	1,6	40	4,4	0,01	580	85	334	96	8	40	1	0,01	14	36505	0,00	135	5679	5,9	100	125	19	0	0	0	0	

Deelgebied 4.1 Rhienderense Beek inrichting West (locatie 29 en 32)

In 2016 werd in deelgebied Rhienderense Beek inrichting West (code 4.1 in Figuur 4) op 6 locaties (locatie 25 t/m 27 en 31 t/m 33; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locaties bleken kansrijk voor de ontwikkeling van heide, heischraal grasland, blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na afgraven van 15 tot 50 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 2 locaties (29 en 32) bepaald (Tabel 9). De GHG in dit deelgebied varieert van 30-40 cm-mv en de GLG van 90-140 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (30 cm dik) is matig tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1437-3033 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 15,1-15,2 mmol/l; Tabel 9). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 75 tot 100 jaar. De bodem in deelgebied 4.1 is ijzerrijk (Fe-t: 78-202 mmol/l) en zwak tot matig gebufferd (Ca-t: 14-35 mmol/l en Ca-z: $\pm 4.500-14.000$ $\mu\text{mol/l}$; Tabel 9).

Tabel 9. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 29 en 32 (deelgebied 4.1). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	M	Vs-P	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
29	140	40	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	11	1,2	3033	15,1	0,20	200	14	79	6	6	10	6	0,23	237	4434	0,05	9	648	4,6	91	2	64	63	76	76	70	57
			20 - 30	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	8	8	1,4	2987	17,9	0,17	232	17	88	6	8	12	6	0,20	247	4657	0,05	17	479	4,7	91	2	84	50	46	46	41	33
			30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	3	14	1,3	822	5,2	0,16	215	17	87	20	8	10	4	0,14	134	5514	0,02	28	565	4,7	95	0	44	25	7	6	0	0
			40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	3	16	1,3	547	4,1	0,13	250	16	78	23	6	7	5	0,20	122	6150	0,02	32	636	4,8	96	0	34	23	3	1	0	0
32	90	30	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	4	17	1,4	1437	15,2	0,09	336	31	202	15	9	21	7	0,14	170	11816	0,01	22	2569	4,7	97	170	235	75	62	42	16	
			20 - 30	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	4	16	1,4	1346	14,0	0,10	369	31	170	14	10	21	7	0,13	62	12393	0,01	35	2371	4,9	99	0	77	54	34	27	18	5
			30 - 40	zand, sterk kleiig, matig humeus, omgewerkt	AB	3	12	1,6	313	3,8	0,08	453	32	183	57	10	29	5	0,08	10	13578	0,00	92	3647	5,2	100	0	51	54	1	0	0	0
			40 - 50	zand, sterk kleiig, matig humeus, omgewerkt	AB	3	14	1,6	201	3,4	0,06	550	35	182	65	11	26	5	0,09	10	14183	0,00	79	4433	5,0	100	0	36	51	0	0	0	0

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- Locatie 29:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 822 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 5,2 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (min. 10 jaar maaien en afvoeren) of 40 cm afgraven (Olsen-P: 547 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 4,1 mmol/l) in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer (min. 3 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t: 16-17 mmol/l, Ca-z: 5.500-6.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 78-87 mmol/l).
- Locatie 32:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 313 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 3,8 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 32 mmol/l, Ca-z: 13.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 183 mmol/l).

Deelgebied 4.2 Rhienderense Beek inrichting Oost (locatie 30 en 31)

In 2016 werd in deelgebied Rhienderense Beek inrichting Oost (code 4.2 in Figuur 4) op locatie 28 (Figuur 5) de potentie voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locatie bleek kansrijk voor de ontwikkeling van heischraal grasland of heide na afgraven van 10 cm (in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer) of 20 cm (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 2 locaties (30 en 31) bepaald (Tabel 10). De GHG in dit deelgebied varieert van 55-75 cm-mv en de GLG van 130-150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bodem is licht tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1480-4272 µmol/l en P-t: 8,8-23,0 mmol/l; Tabel 10). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bodem (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l van ca. 50 tot 135 100 jaar. De bodem in deelgebied 4.2 is (matig) ijzerrijk (Fe-t: 47-110 mmol/l) en zwak tot matig gebufferd (Ca-t: 16-47 mmol/l en Ca-z: ± 4.000-17.500 µmol/l; Tabel 10).

Tabel 10. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 30 en 31 (deelgebied 4.2). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
30	130	55	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	2	16	1,3	4272	23,0	0,19	210	18	63	4	7	10	7	0,24	271	7383	0,04	37	452	4,7	93	24	192	42	125	125	117	103
			20 - 30	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	12	1,5	1686	10,5	0,16	252	16	81	9	8	17	3	0,09	127	3764	0,03	37	215	4,9	94	9	128	17	23	23	17	9
			30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	0	12	1,5	415	4,7	0,09	190	18	110	27	10	23	2	0,05	17	4468	0,00	61	929	4,9	99	16	138	16	4	4	6	6
31	150	75	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, doorgewerkt	A	4	12	1,5	1480	8,8	0,17	292	22	93	13	7	20	5	0,12	79	8977	0,01	49	4712	5,0	98	6	435	67	36	36	25	10
			20 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, doorgewerkt	A	2	13	1,5	1907	10,9	0,17	269	22	80	9	7	16	5	0,12	31	9705	0,00	72	3154	5,1	99	15	136	66	50	50	40	25
			40 - 65	zand, zwak siltig, matig humeus, doorgewerkt	A	2	15	1,5	1332	7,0	0,19	280	27	68	14	8	16	5	0,11	11	8826	0,00	129	2732	5,3	99	3	137	36	31	31	22	5
			65 - 75	veen, restant bosveen, sterk veraard	O	10	32	1,1	973	5,8	0,17	172	47	47	16	6	13	15	0,25	27	17601	0,00	122	4547	4,9	99	2	382	328	9	9	3	3

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 30:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 415 µmol/l en P-t: 4,7 mmol/l) in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 4 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t: 18 mmol/l, Ca-z: 4.500 µmol/l en Fe-t: 110 mmol/l). Vanwege de ijzerrijkdom van de bodem is de kans groot dat door extra immobilisatie van P de Olsen-P concentratie na afgraven lager zal zijn.
- **Locatie 31:** tot op 65 cm diepte is de doorgewerkte bodem rijk aan P. Het advies is om met een verschrallingsbeheer de P-rijke toplaag (Olsen-P: 1480 µmol/l en P-t: 8,8 mmol/l) over een langere periode te verschrallen voor de ontwikkeling van een droog kruidenrijker grasland. Zodra de nitraat- en P-z concentraties fors afnemen zal de kruidenrijkdom toenemen.

Deelgebied 5.2 Leusveld Noordwest (locatie 23, 24 en 25)

In 2016 werd in deelgebied Leusveld Noordwest (code 5.2 in Figuur 4) op 2 locaties (locatie 17 en 18; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locaties bleken kansrijk voor de ontwikkeling van blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na afgraven van de zode tot 40 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 3 locaties (23 t/m 25) bepaald (Tabel 11). De GHG in dit deelgebied varieert van 50-55 cm-mv en de GLG van 130-140 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-15/20 cm) van de bouwvoor (20-25 cm dik) is matig tot

sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1412-4814 µmol/l en P-t: 17,6-19,4 mmol/l; Tabel 11). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l van ca. 80 tot 110 jaar. De bodem in deelgebied 5.2 is (zeer) ijzerrijk (Fe-t: 81-1366 mmol/l) en zwak tot sterk gebufferd (Ca-t: 10-104 mmol/l en Ca-z: ± 2.500-46.000 µmol/l; Tabel 11).

Tabel 11. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 23 t/m 25 (deelgebied 5.2). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
23	130	50	0 - 20	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	4	19	1,4	2021	18,4	0,11	544	23	400	23	11	23	10	0,22	776	9377	0,08	43	1892	4,3	87	2	19	173	98	98	99	47
			20 - 30	zand, sterk kleilig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	11	1,6	177	9,7	0,02	442	37	750	81	13	27	5	0,08	166	18185	0,01	123	3581	4,6	98	0	30	43	0	0	0	0
			30 - 40	zand, zwak siltig, matig grindig	C	1	10	1,6	145	4,7	0,03	258	25	221	53	15	24	3	0,06	35	10952	0,00	116	2732	4,7	99	0	14	27	0	0	0	0
24	130	55	0 - 20	klei, sterk zandig, matig humeus, bv	Ap	8	23	1,0	1412	19,4	0,07	380	42	273	16	6	13	11	0,20	163	17159	0,01	130	1087	4,6	98	57	55	95	78	52	18	
			20 - 30	klei, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	BC	3	17	1,5	162	6,9	0,02	963	98	664	111	13	42	8	0,06	28	37655	0,00	264	4235	4,7	100	0	23	36	0	0	0	0
			30 - 40	klei, zwak siltig	C	3	21	1,5	89	10,6	0,01	814	104	1366	138	15	51	5	0,03	7	45865	0,00	331	5573	5,0	100	0	25	48	0	0	0	0
25	140	55	0 - 15	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	14	1,4	4814	17,6	0,27	249	10	86	5	5	8	0,46	901	2743	0,33	34	154	4,3	63	4	93	109	68	68	68	62	
			15 - 25	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	14	1,4	4107	17,1	0,24	273	11	102	7	5	9	0,38	707	3166	0,22	27	103	4,6	72	4	21	61	44	44	43	38	
			25 - 35	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	10	1,6	583	3,3	0,18	193	11	81	28	7	13	4	0,15	364	3378	0,11	68	442	4,4	84	1	12	27	1	1	0	0
			35 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	13	1,6	442	4,2	0,10	339	20	187	49	14	28	3	0,07	304	6190	0,05	64	1477	4,6	93	0	15	22	4	0	0	0
			45 - 55	zand, sterk kleilig	BC	1	14	1,6	245	6,5	0,04	394	26	582	93	18	33	4	0,07	107	12634	0,01	238	4224	4,7	98	0	17	18	0	0	0	0

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 23:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 177 µmol/l en P-t: 9,7 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 37 mmol/l, Ca-z: 18.000 µmol/l en Fe-t: 750 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 110 cm-mv en GHG 30 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland worden ontwikkeld.
- **Locatie 24:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 162 µmol/l en P-t: 6,9 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t: 98 mmol/l, Ca-z: 37.500 µmol/l en Fe-t: 664 mmol/l) op klei, mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 110 cm-mv en GHG 35 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland worden ontwikkeld.
- **Locatie 25:** 25 cm afgraven (Olsen-P: 583 µmol/l en P-t: 3,3 mmol/l) in combinatie met beperkt verschrallingsbeheer (ca. 5 jaar) voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t: 11 mmol/l, Ca-z: 3.500 µmol/l en Fe-t: 81 mmol/l). Geadviseerd wordt om na het plaggen eenmalig te bekalken (2.000 kg Dolokal per hectare en 1.000 kg Vulkamin per hectare) om de soortenrijkdom te vergroten en verzuring te voorkomen.

Deelgebied 5.4 Tussen Hoge Veldgang / Slangenwal (locatie 11, 12 en 17)

In 2016 werd in deelgebied Tussen Hoge Veldgang / Slangenwal (code 5.4 in Figuur 4) op 2 locaties (locatie 20 en 21; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locatie bleken kansrijk voor de ontwikkeling van blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na afgraven van de zode tot 40 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 3 locaties (11, 12 en 17) bepaald (Tabel 12). De GHG in dit deelgebied varieert van 50-150 cm-mv en de GLG van 110 tot meer dan 150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (20-35 cm dik) is

matig tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 1287-4894 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 13,4-19,2 mmol/l; Tabel 12). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ van ca. 50 tot 120 jaar. De bodem in deelgebied 5.4 is matig ijzerhoudend tot ijzerrijk (Fe-t: 47-1041 mmol/l) en zwak tot sterk gebufferd (Ca-t: 4-141 mmol/l en Ca-z: $\pm 850-49.000 \mu\text{mol/l}$; Tabel 12).

Tabel 12. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 11, 12 en 17 (deelgebied 5.4). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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
11	110	50	0 - 20	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	4	16	1,1	1920	18,1	0,11	217	24	78	6	4	12	5	0,15	30	8745	0,00	35	1064	5,0	99	5	150	96	84	84	88	42
			20 - 35	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	2	14	1,3	1568	15,0	0,10	226	20	106	8	4	13	3	0,09	20	6656	0,00	36	1392	4,8	99	4	92	48	56	48	34	16
			35 - 45	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	13	1,5	324	4,1	0,08	284	21	160	45	9	24	0	0,01	22	10870	0,00	68	3254	5,3	100	0	35	29	1	0	0	0
			45 - 55	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	18	1,5	33	5,9	0,01	462	52	707	128	16	47	0	0,00	4	19193	0,00	141	5586	5,2	100	0	15	23	5	0	0	0
12	>150	150	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	10	1,1	4894	19,2	0,25	139	8	57	3	5	6	6	0,40	1088	2520	0,43	37	230	4,0	60	14	47	49	101	103	108	83
			20 - 35	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	10	1,1	5110	15,9	0,32	113	6	47	3	5	4	4	0,36	1038	2547	0,41	30	86	4,0	59	11	71	49	60	60	60	57
			35 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	5	10	1,2	2236	8,5	0,26	256	6	64	8	8	3	2	0,23	902	1605	0,56	24	28	4,2	52	3	21	16	17	17	17	12
			45 - 55	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	8	1,0	759	6,7	0,11	372	4	57	9	8	6	2	0,18	732	866	0,85	26	40	4,2	42	1	27	24	11	7	0	0
17	110	30	0 - 20	zand, sterk kleilig, matig humeus, bv	Ap	6	21	1,0	1287	13,4	0,10	302	42	172	16	7	28	10	0,14	28	19691	0,00	125	3505	5,1	100	1	289	50	64	51	32	5
			20 - 30	klei, matig siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	8	32	0,9	416	13,7	0,03	617	130	833	70	7	47	9	0,05	63	45132	0,00	451	6071	5,7	100	0	403	9	12	0	0	0
			30 - 45	klei, matig siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	7	32	1,0	668	25,4	0,03	627	141	1041	47	5	51	4	0,02	65	49211	0,00	236	6562	6,1	100	0	241	53	65	30	0	0
			45 - 55	zand, zwak siltig, matig grindig	C	1	14	1,5	403	5,5	0,07	137	33	184	39	6	21	0	0,01	0	16256	0,00	130	2014	6,3	100	0	21	14	4	0	0	0

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 11:** 35 cm afgraven (Olsen-P: 324 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 4,1 mmol/l) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t: 21 mmol/l, Ca-z: 11.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 160 mmol/l) op klei(ig zand: Al-t 284 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 65 cm-mv en GHG 15 cm-mv).
- **Locatie 12:** tot op 55 cm diepte is de bodem rijk aan P. Het advies is om na afgraven van de bouwvoor (35 cm) met een verschrallingsbeheer de nog P-rijke bodem (Olsen-P: 2236 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,5 mmol/l) te verschrallen voor de ontwikkeling van een droog kruidenrijk grasland. Er zijn voorbeelden van de ontwikkeling van droge kruidenrijke graslanden onder P-rijke omstandigheden. Waarschijnlijk speelt stikstoflimitatie en/of droogtestress hierbij een belangrijke rol. Gezien de lage nitraatconcentraties in het zoutextract (47 $\mu\text{mol/l}$) en de droge condities (GHG 150 cm-mv) kan ook geprobeerd worden om zonder afgraven een kruidenrijk(er) grasland te ontwikkelen.
- **Locatie 17:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 416 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 13,7 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 130 mmol/l, Ca-z: 45.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 833 mmol/l) op klei, mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 90 cm-mv en GHG 10 cm-mv).

Deelgebied 5.6 Leusveld Zuidwest (locatie 21, 22, 26, 27 en 28)

In 2016 werd in deelgebied Leusveld Zuidwest (code 5.6 in Figuur 4) op locaties 19 (Figuur 5) de potentie voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locatie bleek kansrijk voor de ontwikkeling van blauwgrasland en/of dotterbloemhooiland na verwijderen van de zode of 20 cm afgraven (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 5 locaties (21, 22 en 26 t/m 28) bepaald (Tabel 13). De GHG in dit deelgebied varieert van 40 tot meer dan 150

cm-mv en de GLG van 120 tot meer dan 150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-20 cm) van de bouwvoor (30 cm dik) is matig tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 2121-7527 µmol/l en P-t: 10,0-28,3 mmol/l; Tabel 13). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l van ca. 45 tot 190 jaar. De bodem in deelgebied 5.6 is matig ijzerhoudend tot zeer ijzerrijk (Fe-t: 24-1397 mmol/l) en zwak tot matig gebufferd (Ca-t: 9-36 mmol/l en Ca-z: ± 3.000-19.500 µmol/l; Tabel 13).

Tabel 13. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 21, 22 en 26 t/m 28 (deelgebied 5.6). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	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	
21	115	40	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	16	1,2	2121	10,0	0,21	147	11	30	4	9	2	0	6	0,18	528	4130	0,13	23	55	4,6	82	8	112	67	44	44	39	27
			20 - 30	zand, zwak siltig, humusinspoeling	BC	4	10	1,4	368	2,4	0,15	294	13	287	125	5	9	4	0,19	150	5479	0,03	29	47	4,9	95	0	19	12	0	0	0	0	0
			30 - 40	zand, zwak siltig, humusinspoeling	BC	2	11	1,4	136	1,6	0,09	327	13	221	147	8	14	4	0,14	54	5007	0,01	29	100	5,0	98	0	19	12	0	0	0	0	0
			40 - 50	zand, zwak siltig, matig grindig	C	1	12	1,5	0	1,2	0,00	302	9	135	119	10	15	3	0,13	30	3560	0,01	40	325	5,0	98	0	19	15	0	0	0	0	0
22	120	50	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	4	20	1,4	2679	20,0	0,13	530	24	304	16	9	22	10	0,22	528	10150	0,05	67	1169	4,5	92	2	125	53	106	102	88	69	
			20 - 30	zand, sterk kleiig, zwak humeus, omgewerkt	AB	2	15	1,6	661	9,0	0,07	573	29	446	53	10	27	7	0,12	155	10140	0,02	68	2308	4,8	97	0	52	30	15	7	0	0	0
			30 - 40	zand, zwak siltig, matig grindig	C	1	11	1,6	279	8,1	0,03	338	22	623	80	9	25	5	0,10	40	6664	0,01	86	2125	4,8	99	0	39	17	0	0	0	0	0
			40 - 50	zand, zwak siltig, matig grindig	C	1	9	1,8	507	18,5	0,03	254	18	779	43	14	26	4	0,08	6	5384	0,00	200	2263	5,0	99	0	39	18	24	1	0	0	0
26	>150	120	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	11	1,4	7527	28,3	0,27	140	17	271	10	6	3	8	0,39	157	8476	0,02	28	2136	4,5	96	48	174	146	158	158	149	140	
			20 - 30	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	11	1,3	6095	22,3	0,27	136	15	34	2	6	3	6	0,33	205	7954	0,03	12	1851	4,6	96	29	39	43	60	60	60	56	
			30 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, inspoelingshorizont	B	4	12	1,2	1841	5,3	0,35	282	18	24	8	7	7	5	0,19	181	7600	0,02	8	869	4,7	96	0	19	36	11	11	11	9	
			45 - 55	zand, zwak siltig, zwak humeus	BC	4	8	1,4	454	3,7	0,12	422	12	333	92	7	10	6	0,25	125	5322	0,02	35	372	4,8	96	0	24	19	2	0	0	0	0
27	150	90	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	3	14	1,3	4027	27,6	0,15	224	13	361	14	6	10	7	0,32	477	5244	0,09	33	704	4,5	85	4	56	92	153	151	139	121	
			20 - 30	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	3	13	1,4	3222	24,3	0,13	263	16	386	17	7	12	6	0,21	199	7940	0,03	43	719	4,6	95	1	30	50	67	64	57	48	
			30 - 40	zand, sterk kleiig, zwak humeus, omgewerkt	BC	2	11	1,7	518	18,2	0,03	531	36	1397	79	10	23	5	0,09	10	19528	0,00	160	3423	4,9	100	0	24	18	24	2	0	0	0
			40 - 50	zand, zwak siltig	C	1	12	1,5	329	5,1	0,06	308	16	489	99	11	15	3	0,10	157	4535	0,03	127	365	4,6	92	0	40	20	1	0	0	0	0
28	>150	>150	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	1	11	1,3	2934	14,0	0,21	219	21	90	7	16	39	5	0,08	555	3084	0,18	14	562	4,4	77	8	65	66	69	69	64	52	
			20 - 35	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	1	9	1,5	2726	14,2	0,19	281	25	90	8	20	50	3	0,04	304	4249	0,07	60	861	4,4	89	7	44	29	53	53	47	37	
			35 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	1	9	1,5	2143	12,1	0,18	357	30	104	11	24	78	2	0,02	159	5217	0,03	40	1608	4,6	95	12	65	22	28	28	24	17	
			45 - 55	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	1	9	1,6	1808	11,2	0,16	348	29	96	11	23	71	3	0,03	137	4752	0,03	43	1317	4,8	95	4	59	21	26	25	20	12	

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 21:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 368 µmol/l en P-t: 2,4 mmol/l) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t: 13 mmol/l, Ca-z: 5.500 µmol/l en Fe-t: 287 mmol/l).
- **Locatie 22:** 20 cm afgraven (Olsen-P: 661 µmol/l en P-t: 9,0 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 8 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of zwak gebufferd dotterbloemhooiland (Ca-t: 29 mmol/l, Ca-z: 10.000 µmol/l en Fe-t: 446 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 100 cm-mv en GHG 30 cm-mv). Onder drogere omstandigheden kan een heischraal grasland of glanshaverhooiland worden ontwikkeld.
- **Locatie 26:** 35 cm afgraven (Olsen-P: 1841 µmol/l en P-t: 5,3 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 13 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een droog heischraal grasland (Ca-t: 18 mmol/l, Ca-z: 7.500 µmol/l en Fe-t: 24 mmol/l) of 45 cm afgraven (Olsen-P: 454 µmol/l en P-t: 3,7 mmol/l) voor de ontwikkeling van een droog heischraal grasland (Ca-t: 12 mmol/l, Ca-z: 5.000 µmol/l en Fe-t: 333 mmol/l) in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer. Mogelijk valt de Olsen-P concentratie in de praktijk lager uit na ontgronding als gevolg van de zeer ijzerrijke condities.
- **Locatie 27:** 30 cm afgraven (Olsen-P: 518 µmol/l en P-t: 18,2 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 36 mmol/l, Ca-z: 19.500 µmol/l en Fe-t: 1697 mmol/l), mits de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld voldoende hoog zijn (na maaiveldverlaging GLG 120 cm-mv en GHG 60 cm-mv). Onder drogere condities kan een glanshaverhooiland worden ontwikkeld.

- **Locatie 28:** tot op 55 cm diepte is de bodem rijk aan P. Er zijn voorbeelden van de ontwikkeling van droge kruidenrijke graslanden onder P-rijke omstandigheden. Waarschijnlijk speelt stikstoflimitatie en/of droogtestress hierbij een belangrijke rol. Gezien de lage nitraatconcentraties in het zoutextract (65 µmol/l) en de droge condities (GHG >150 cm-mv) kan ook geprobeerd worden om zonder afgraven een kruidenrijk(er) grasland te ontwikkelen.

Deelgebied 5.7 Leusveld Zuidoost (locatie 13, 14, 15, 16, 18, 19 en 20)

In 2016 werd in deelgebied Leusveld Zuidoost (code 5.7 in Figuur 4) op 3 locaties (locatie 22 t/m 24; Figuur 5) de potenties voor natuurontwikkeling bepaald (van Mullekom & Smolders, 2016). De locaties bleken kansrijk voor de ontwikkeling van blauwgrasland na afgraven van 10 tot 25 cm, eventueel in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (van Mullekom & Smolders, 2016).

Bij het huidige onderzoek is in dit deelgebied de bodemchemische samenstelling op 7 locaties (13 t/m 16 en 18 t/m 20) bepaald (Tabel 14). Locatie 20 betreft geen (voormalig) agrarisch perceel, maar ligt in het bos (Figuur 2). De GHG in dit deelgebied varieert van 40-120 cm-mv en de GLG van 90 tot meer dan 150 cm-mv (Tabel 3). De toplaag (0-15/20 cm) van de bouwvoor (20-65 cm dik) is licht tot sterk verrijkt met P (Olsen-P: 390-6759 µmol/l en P-t: 6,6-29,9 mmol/l; Tabel 14). Via maaien en afvoeren varieert de verschrallingsduur van de toplaag van de bouwvoor (0-25 cm) tot een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l van ca. 10 tot 210 jaar. De bodem in deelgebied 5.7 varieert van ijzerarm tot ijzerrijk (Fe-t: 17-251 mmol/l) en van ongebufferd tot matig gebufferd (Ca-t: 4-69 mmol/l en Ca-z: ± 400-15.000 µmol/l; Tabel 14).

Tabel 14. Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op bodemlocaties 13 t/m 16 en 18 t/m 20 (deelgebied 5.7). Zie Tabel 5 voor een nadere toelichting en voor de gebruikte kleurarceringen.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Al-z	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
13	>150	120	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	5	13	1,1	5585	29,9	0,19	265	17	57	2	19	15	7	0,23	93	6246	0,01	56	3930	4,7	98	20	345	61	168	168	160	147
			40 - 50	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	4	10	1,0	3226	12,7	0,25	144	9	37	4	5	11	4	0,18	283	3693	0,08	44	1507	4,4	91	2	97	33	30	30	30	25
			50 - 60	zand, zwak siltig, matig humeus, omgewerkt	AB	4	12	1,0	1480	7,9	0,19	205	6	31	5	5	10	3	0,21	313	2478	0,13	53	909	4,6	86	1	91	16	15	15	11	5
			60 - 70	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	2	11	1,1	208	3,4	0,06	264	6	37	13	5	13	2	0,11	165	1631	0,10	58	544	4,7	88	0	61	17	0	0	0	0
14	120	40	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	5	19	1,1	1651	13,9	0,12	154	25	41	5	6	19	11	0,24	45	7387	0,01	40	3767	5,2	99	6	670	51	68	61	45	24
			20 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	16	1,3	624	3,9	0,16	186	18	44	16	5	19	4	0,11	52	7018	0,01	46	3693	5,0	99	1	378	41	5	5	0	0
			40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	13	1,4	182	1,4	0,13	226	17	61	55	7	34	2	0,04	15	7890	0,00	52	5089	5,3	100	0	135	21	0	0	0	0
			50 - 60	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	1	12	1,5	131	1,1	0,12	180	14	49	59	7	26	1	0,03	7	8102	0,00	56	4117	5,2	100	0	122	20	0	0	0	0
15	140	85	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	6	15	1,0	4256	21,5	0,20	112	18	33	2	7	15	7	0,22	32	6188	0,01	44	4847	5,1	99	70	1141	104	118	118	109	97
			20 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	10	1,2	5604	20,2	0,28	118	13	30	2	6	10	5	0,20	70	6016	0,01	59	3053	5,2	98	46	1488	136	107	107	107	99
			40 - 65	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	12	1,2	1708	5,7	0,30	101	12	17	5	4	6	2	0,13	64	5486	0,01	53	2139	5,2	98	3	597	21	21	21	21	13
			65 - 75	zand, zwak siltig, zwak humeus, inspoelingshorizont	B	2	12	1,3	990	3,6	0,27	148	14	21	10	6	8	2	0,09	46	6147	0,01	61	2296	5,2	99	1	352	21	2	2	2	1
16	90	40	0 - 15	zand, sterk kleig, matig humeus, bv	Ap	6	19	1,2	2451	19,2	0,13	208	41	67	6	9	28	11	0,16	32	13289	0,00	59	4782	5,4	99	18	252	116	76	72	61	46
			15 - 30	zand, sterk kleig, matig humeus, bv	Ap	6	19	1,2	1631	15,0	0,11	205	41	63	7	9	28	9	0,13	9	11224	0,00	51	3855	5,4	100	2	128	37	56	49	36	19
			30 - 45	zand, sterk kleig, matig humeus, bv	Ap	10	25	0,9	429	8,4	0,05	292	69	79	18	9	32	12	0,12	12	15003	0,00	50	5174	5,8	100	0	136	27	12	0	0	0
			45 - 55	zand, sterk kleig, humusinspoeling	BC	1	14	1,5	67	1,3	0,05	297	23	57	61	12	35	2	0,03	5	9073	0,00	61	3384	5,8	100	0	25	20	0	0	0	0
18	150	80	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, opgebracht, bv	Ap	3	17	1,1	390	6,6	0,06	158	51	133	28	5	19	8	0,11	10	14296	0,00	62	302	5,9	100	0	241	37	9	0	0	0
			20 - 35	zand, sterk kleig, matig humeus, begraven bodem	A	6	20	1,0	2572	10,2	0,25	126	37	37	7	3	5	6	0,15	11	13129	0,00	59	502	5,9	100	0	303	60	34	34	33	25
			35 - 50	zand, sterk kleig, matig humeus, begraven bodem	A	6	21	1,1	1540	11,9	0,13	149	38	33	6	4	7	6	0,13	8	13391	0,00	60	1324	5,9	100	1	255	35	42	38	27	12
			50 - 60	veen, sterk kleig, sterk veraard, doorgewerkt	O	9	25	1,1	350	2,2	0,16	93	29	17	21	3	4	3	0,10	26	15061	0,00	60	2159	5,8	100	0	184	49	0	0	0	0
19	150	90	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	12	1,4	6759	23,3	0,29	213	6	72	3	7	8	6	0,46	1834	619	2,96	69	63	3,9	19	23	108	34	121	127	127	120
			20 - 30	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	3	12	1,4	5919	19,6	0,30	227	5	58	3	7	6	5	0,47	1503	868	1,73	51	92	4,2	28	15	92	35	52	52	52	49
			30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	2	13	1,3	1487	8,1	0,18	297	4	25	4	7	5	4	0,45	919	1187	0,77	59	54	4,4	45	1	38	13	16	16	12	5
			40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	A	1	11	1,6	463	3,7	0,12	351	9	42	14	9	11	4	0,20	846	2065	0,41	68	69	4,6	61	1	40	18	2	0	0	0
20	100	40	0 - 10	veen, matig slap	O	64	64	0,3	554	2,7	0,20	46	10	22	12	3	4	11	0,76	407	7001	0,06	28	2121	2,8	72	71	520	380	0	0	0	0
			10 - 20	zand, sterk kleig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	4	20	1,2	448	5,5	0,08	412	15	245	47	16	53	7	0,10	4919	465	10,57	70	163	3,6	8	0	279	38	6	0	0	0
			20 - 30	zand, sterk kleig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	10	21	1,2	590	3,9	0,15	523	7	251	67	8	21	8	0,29	4767	436	10,95	205	157	3,7	8	0	768	71	3	2	0	0
			30 - 40	zand, zwak siltig, zwak grindig	C	1	13	1,6	40	3,0	0,01	387	8	169	59	14	23	4	0,15	4091	257	15,89	169	125	3,8	7	0	321	20	0	0	0	0

Voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde, soortenrijke natuur is het advies om de P-rijke bodemlagen af te graven. Per locatie zijn er de volgende mogelijkheden (zie Bijlage 1 voor aanvullende inrichtingsmaatregelen):

- **Locatie 13:** tot op 60 cm diepte is de bodem rijk aan P. Er zijn voorbeelden van de ontwikkeling van droge kruidenrijke graslanden onder P-rijke omstandigheden. Waarschijnlijk speelt

.....

stikstoflimitatie en/of droogtestress hierbij een belangrijke rol. De nitraatconcentraties in het zoutextract zijn echter nog hoog (345 $\mu\text{mol/l}$). Mogelijk kan via tijdelijk akkeren of maaien en afvoeren op termijn een droog kruidenrijk(er) grasland ontwikkeld worden.

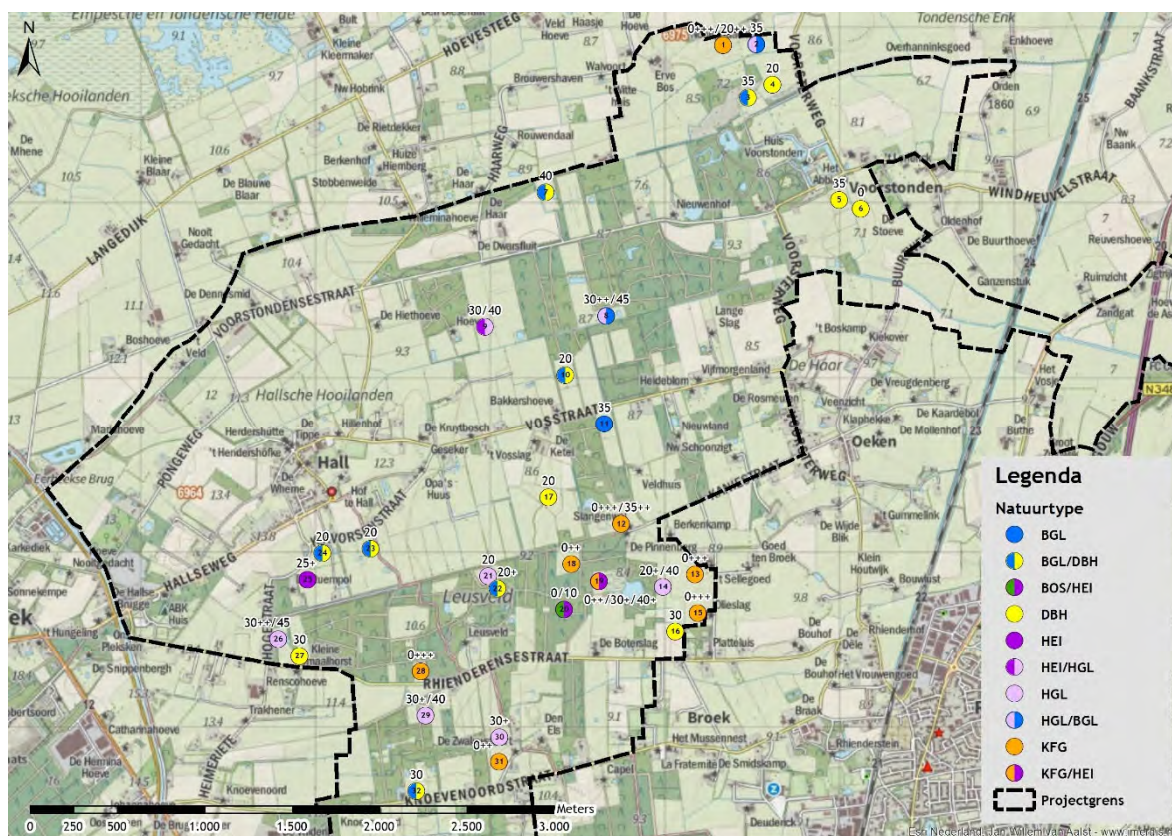
- Locatie 14: 20 cm afgraven (Olsen-P: 624 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 3,9 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 5 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t: 18 mmol/l, Ca-z: 7.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 44 mmol/l) of 40 cm afgraven voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t: 17 mmol/l, Ca-z: 8.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 61 mmol/l).
- Locatie 15: tot op 75 cm diepte is de bodem rijk aan P. Er zijn voorbeelden van de ontwikkeling van droge kruidenrijke graslanden onder P-rijke omstandigheden. Waarschijnlijk speelt stikstoflimitatie en/of droogtestress hierbij een belangrijke rol. De nitraatconcentraties in het zoutextract zijn echter nog zeer hoog (1141 $\mu\text{mol/l}$). Mogelijk kan via tijdelijk akkeren of maaien en afvoeren op termijn een droog kruidenrijk(er) grasland ontwikkeld worden.
- Locatie 16: 30 cm afgraven (Olsen-P: 429 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,4 mmol/l) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t: 69 mmol/l, Ca-z: 15.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 79 mmol/l).
- Locatie 18: op deze locatie is op de oorspronkelijke P-rijke bodem 20 cm P-arm zand (Olsen-P: 390 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 6,6 mmol/l) opgebracht. Het opgebrachte zandpakket is echter te dun om te voorkomen dat wortels de P-rijke (Olsen-P: 2572 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 10,2 mmol/l) begraven bodem kunnen bereiken, waardoor het risico bestaat op verzuuring. Het advies is om met een verschrallingsbeheer deze locatie te ontwikkelen tot een kruidenrijk grasland (Ca-t: 51 mmol/l, Ca-z: 14.500 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 72 mmol/l). Onder het opgebrachte zand en de oorspronkelijke bouwvoor van 30 cm is een sterk veraarde veenlaag / venige laag aangetroffen die een risico vormt voor pitrusontwikkeling ondanks dat de Olsen-P concentratie relatief laag is (350 $\mu\text{mol/l}$). Daarnaast is de GHG na een ontgronding van 50 cm nog altijd 30 cm-mv en daarmee te laag voor de ontwikkeling van een blauwgrasland.
- Locatie 19: 30 cm afgraven (Olsen-P: 1487 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 8,1 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 5 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunairijk grasland. Door middel van maaien en afvoeren of tijdelijk akkeren een kruidenrijker grasland op de toplaag ontwikkelen is ook een optie gezien de droge, zandige condities en de nitraatconcentraties die bijna lager dan 100 $\mu\text{mol/l}$ zijn. Een alternatief is 40 cm afgraven (Olsen-P: 463 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 3,7 mmol/l) in combinatie met aanvullend verschrallingsbeheer (ca. 2 jaar maaien en afvoeren) voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t: 9 mmol/l, Ca-z: 2.000 $\mu\text{mol/l}$ en Fe-t: 42 mmol/l). Het advies om eenmalig te bekalken (2.000 kg Dolokal per hectare en 1.000 kg Vulkamin per hectare) om de soortenrijkdom te vergroten en verzuring te voorkomen.
- Locatie 20: deze locatie ligt in het bos en de zure (pH-z: 2,8; Tabel 14) organische strooisellaag (64% organische stof) is P-arm (Olsen-P: 554 $\mu\text{mol/l}$ en P-t: 2,7 mmol/l). De labiele nutriëntenconcentraties in het strooisel zijn relatief hoog (P-z: 71 $\mu\text{mol/l}$; NO_3 -z: 520 $\mu\text{mol/l}$ en NH_4 -z: 380 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 14). Het zand onder het strooisel is kalkarm en zuur (Ca-t: 7-8 mmol/l, Ca-z: 250-400 $\mu\text{mol/l}$ en pH-z: 3,7-3,8) en bevindt zich in de aluminiumbufferrange met zeer hoge concentraties opgelost aluminium (Al-z: 4.000-5000 $\mu\text{mol/l}$). Wanneer het bos wordt omgevormd naar heide wordt geadviseerd de organische toplaag te verwijderen. Het advies is daarnaast om eenmalig te bekalken (2.000 kg Dolokal per hectare en 1.000 kg Vulkamin per hectare) om de soortenrijkdom te vergroten en verzuring te voorkomen.

Samenvatting natuurpotenties

De in de vorige paragraaf beschreven kansen voor natuurontwikkeling per deelgebied worden in Tabel 15 samengevat. In de tabel wordt de bodemchemische samenstelling van de nieuwe toplaag gegeven. Wanneer in de tabel de bodemlaag van 20-30 cm onder maaiveld staat gegeven, dan kan het aangeven natuurstype worden gerealiseerd na afgraven van de P-rijke toplaag van 20 cm. Bij beheer staat of er nog aanvullend verschrallingsbeheer (maaien en afvoeren) noodzakelijk is. Wanneer aanvullend verschrallingsbeheer vereist is dan betekent dit dat de nieuwe toplaag, na ontgronding, nog onvoldoende P-gelimiteerd is voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurstypen. Hierdoor kan in eerste instantie verruiging optreden (pitrusontwikkeling). Des langer er aanvullend verschrallend moet worden ('++' in Tabel 15), des te groter het risico op verruiging. In Figuur 13 worden de adviezen uit Tabel 15 ruimtelijk weergegeven.

Tabel 15. Samenvatting van de natuurpotenties per locatie. Op de locaties waar het noodzakelijk is om de bouwvoor af te graven, is in de tabel de bodemchemie van de nieuwe toplaag gegeven. GLG/GHG = grondwaterstanden na de eventueel voorgestelde maaiveldverlaging; Natuurstype: BLG = blauwgrasland, BOS = bos, DBH = dotterbloemhooiland, HGL = heischraal grasland, HEI = heide en KFG = kruiden- en faunarijckgrasland. Beheer = aanvullend verschrallingsbeheer: - = niet nodig, (+) = waarschijnlijk niet nodig, + = < 10 jaar maaien en afvoeren, ++ = 10-25 jaar maaien en afvoeren en +++ = meer dan 25 jaar maaien en afvoeren. OS = organisch stofpercentage, Ols-P = Olsen-P, -t = totale concentratie, -z = zoutuitwisselbare concentraties, Ca-z = zoutuitwisselbare calciumconcentratie (zie paragraaf bodembuffering), M3 = berekende verschrallingsduur (in jaren) **via maaien en afvoeren** tot een streefconcentratie van 300 µmol Olsen-P/l bodem (totaal-P > 3 mmol/l) en M5/M8/M12 = idem, maar dan tot een streefconcentratie van 500/800/1200 µmol/l bodem. De Olsen-P concentratie is weergegeven in µmol/l verse bodem, de overige concentraties in mmol/l verse bodem. Zie Tabel 5 voor een toelichting van de gebruikte kleurarceringen.

Nr.	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	Natuurstype	Beheer	OS	Ols-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO ₃ -z	NH ₄ -z	M3	M5	M8	M12	
Deelgebied 1.1 Haarsloot Noordwest																											
1	>150	115	0 - 20	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	KFG	+++	3	2272	21,2	263	23	113	210	9321	104	1389	4,8	91	2	316	1250	114	103	86	63	
	>130	95	20 - 30	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	KFG	++	3	1828	18,9	333	21	127	157	8378	91	1218	5,1	97	3	196	87	49	43	33	20	
2	55	10	35 - 45	zand, matig siltig, zwak grindig	C	HGL/BGL	-	1	136	4,1	413	26	140	261	8360	109	2187	4,7	96	0	38	27	0	0	0	0	
3	105	40	35 - 45	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL/DBH	-	2	350	5,1	488	38	185	119	24628	146	6000	4,8	97	0	171	1255	2	0	0	0	
4	100	25	20 - 40	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	DBH	-	6	701	11,5	845	49	402	263	21998	122	4926	4,6	98	1	161	34	41	21	0	0	
7	80	15	40 - 55	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL/DBH	-	2	401	7,5	330	28	761	18	13739	303	2737	5,1	100	0	126	34	9	0	0	0	
Deelgebied 2.3 De Hoeven Berkendijken																											
8	90	15	30 - 45	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	HGL/BGL	++	2	1079	7,1	288	22	137	82	9713	93	732	4,9	98	1	30	58	19	18	9	0	
	75	0	45 - 55	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL	-	1	318	5,6	306	25	323	18	13726	269	3645	5,2	100	0	8	39	1	0	0	0	
9	120	45	30 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, inspoeling	B	HEI/HGL	(+)	2	1904	3,5	143	8	20	580	491	30	996	4,3	83	4	73	29	2	2	2	2	
	110	35	40 - 50	zand, zwak siltig, matig humeus, inspoeling	B	HEI	-	2	497	1,3	230	9	37	811	2668	34	566	4,3	70	0	28	13	0	0	0	0	
Deelgebied 2.4 Oekense Beek																											
10	70	20	20 - 35	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL/DBH	-	2	237	12,2	567	54	971	103	29996	171	5494	4,6	99	0	52	22	0	0	0	0	
Deelgebied 2.5 IJsselcorridor																											
5	85	15	35 - 45	klei, sterk siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	DBH	-	6	505	11,5	1202	112	505	17	43455	274	8775	4,9	100	0	297	15	15	0	0	0	
6	105	55	0 - 20	klei, matig zandig, matig humeus, bv	Ap	DBH	-	11	780	20,5	924	91	506	126	30552	157	9876	4,6	99	2	744	81	79	46	0	0	
Deelgebied 4.1 Rhienderense Beek inrichting West																											
29	110	10	30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	HGL	+	3	822	5,2	215	17	87	134	5514	28	565	4,7	95	0	44	25	7	6	0	0	
	100	0	40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	HGL	(+)	3	547	4,1	250	16	78	122	6150	32	636	4,8	96	0	34	23	3	1	0	0	
32	60	0	30 - 40	zand, sterk kleiig, matig humeus, omgewerkt	AB	BGL/DBH	-	3	313	3,8	453	32	183	10	13578	92	3647	5,2	100	0	51	54	1	0	0	0	
Deelgebied 4.2 Rhienderense Beek inrichting Oost																											
30	100	25	30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	HGL	+	0	415	4,7	190	18	110	17	4468	61	929	4,9	99	0	138	16	4	0	0	0	
31	150	75	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, doorgewerkt	A	KFG	++	4	1480	8,8	292	22	93	79	8977	49	4712	5,0	98	6	435	67	36	36	25	10	
Deelgebied 5.2 Leusveld Noordwest																											
23	110	30	20 - 30	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL/DBH	-	1	177	9,7	442	37	750	166	18185	123	3581	4,6	98	0	30	43	0	0	0	0	
24	110	35	20 - 30	klei, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	BC	BGL/DBH	-	3	162	6,9	963	98	664	28	37655	264	4235	4,7	100	0	21	36	0	0	0	0	
25	115	30	25 - 35	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	HEI	+	1	583	3,3	193	11	81	364	3378	68	442	4,4	84	1	12	27	1	1	0	0	
Deelgebied 5.4 Tussen Hoge Veldgang / Slangenval																											
11	75	25	35 - 45	klei, sterk zandig, zwak humeus, humusinsp.	BC	BGL	-	1	324	4,1	284	21	160	22	10870	68	3254	5,3	100	0	35	29	1	0	0	0	
12	>150	150	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	KFG	+++	4	4894	19,2	139	8	57	1088	2520	37	230	4,0	60	14	47	49	101	101	100	91	
	>115	115	35 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	KFG	++	5	2236	8,5	256	6	64	902	1605	24	28	4,2	52	3	21	16	17	17	17	12	
17	90	10	20 - 30	klei, matig siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	DBH	-	8	416	13,7	617	130	833	63	45132	451	6071	5,7	100	0	403	9	12	0	0	0	
Deelgebied 5.6 Leusveld Zuidwest																											
21	95	20	20 - 30	zand, zwak siltig, humusinspoeling	BC	HGL	-	4	368	2,4	294	13	287	150	5479	29	47	4,9	95	0	19	15	0	0	0	0	
22	100	30	20 - 30	zand, sterk kleiig, zwak humeus, omgewerkt	AB	BGL/DBH	+	2	661	9,0	573	29	446	155	10140	68	2308	4,8	97	0	52	30	15	7	0	0	
	>120	90	30 - 45	zand, zwak siltig, zwak humeus, inspoeling	B	HGL	++	4	1841	5,3	282	18	24	181	7600	8	869	4,7	96	0	10	36	11	11	11	9	
	>105	75	45 - 55	zand, zwak siltig, zwak humeus	BC	HGL	(+)	4	454	3,7	422	12	333	125	5322	35	372	4,8	96	0	24	19	2	0	0	0	
27	120	60	30 - 40	zand, sterk kleiig, zwak humeus, omgewerkt	BC	DBH	-	2	518	18,2	531	36	1397	10	19528	160	3423	4,9	100	0	24	18	24	2	0	0	
28	>150	>150	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	KFG	+++	1	2934	14,0	219	21	80	555	3084	14	562	4,4	77	8	65	66	69	69	64	52	
Deelgebied 5.7 Leusveld Zuidoost																											
13	>150	120	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	KFG	+++	5	5585	29,9	265	17	57	93	6246	56	3930	4,7	98	20	345	61	168	168	160	147	
14	100	20	20 - 40	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	HGL	+	3	624	3,9	186	18	44	52	7018	46	3693	5,0	99	1	378	41	5	5	0	0	
	80	0	40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, humusinsp.	BC	HGL	-	1	182	1,4	226	17	61	15	7890	52	5089	5,3	100	0	135	21	0	0	0	0	
15	140	85	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	KFG	+++	6	4256	21,5	112	18	33	32	6188	44	4847	5,1	99	70	1141	104	116	116	109	97	
16	60	10	30 - 45	zand, sterk kleiig, matig humeus, bv	Ap	DBH	-	10	429	8,4	292	69	79	12	15003	50	5174	5,8	100	0	136	27	12	0	0	0	
18	150	80	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, opgebracht, bv	Ap	KFG	++	3	390	6,6	158	51	133	10	14296	62	302	5,9	100	0	241	37	9	0	0	0	
19	150	90	0 - 20	zand, zwak siltig, matig humeus, bv	Ap	KFG	++	3	6759	23,3	213	6	72	1834	619	69	63	3,9	19	23	108	34	127	127	127	120	
	120	60	30 - 40	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	KFG	+	2	1487	8,1	297	4	25	919	1187	59	54	4,4	45	1	38	13	16	16	12	5	
	110	50	40 - 50	zand, zwak siltig, zwak humeus, omgewerkt	AB	HEI	+	1	463	3,7	351	9	42	846	2065	68	69	4,6	61	1	40	18	2	0	0	0	
20	100	40	0 - 10	veen, matig slap	O	BOS	-	64	554	2,7	46	10	22	407	7001	28	2121	2,8	72	71	520	380	0	0	0	0	
	90	30	10 - 20	zand, sterk kleiig, zwak humeus, humusinspoeling	BC	HEI	(+)	4	448	5,5	412	15	245	4919	465	70	163	3,6	8	1	279	38	6	0	0	0	



Figuur 13. Samenvattende kaart met de te natuurlpotenties en de daarvoor geadviseerde verschrallingsmaatregelen. Het getal naast iedere stip geeft aan hoeveel cm P-rijke bodem er afgegraven moet worden en het getal op de stip geeft het locatienummer. Indien aanvullend verschrallingsbeheer noodzakelijk is, wordt dit aangegeven met een plusteken: + = < 10 jaar maaien en afvoeren, ++ = 10-25 jaar maaien en afvoeren en +++ = meer dan 25 jaar maaien en afvoeren (risico op verzuuring). Natuurltype: BLG = blauwgrasland, BOS = bos, DBH = dotterbloemhooiland, HGL = heischraal grasland, HEI = heide en KFG = kruiden- en faunarijkgasland.

Op locatie 19, 20 en 25 is het advies om eenmalig te bekalken. Als gevolg van verzuring heeft uitspoeling van onder andere Ca, Mg en K plaatsgevonden waardoor er mineraalgebrek kan optreden in planten en er sprake kan zijn van aluminiumtoxiciteit (bij een hoge Al/Ca-ratio in het zoutextract). Het herstel van de buffering kan bijdragen aan de ontwikkeling van een soortenrijkere heide. Over het algemeen volstaat een eenmalige bekalking van 2.000 kg Dolokal per hectare.

Uit onderzoek (de Graaf e.a., 2009) blijkt dat in soortenarme heideterreinen de kaliumconcentraties in het zoutextract lager zijn (mediane waarde (10-90 percentielen): 153 (88-380) $\mu\text{mol/kg}$) dan in soortenrijke heiden en heischrale graslanden (283 (110-872) $\mu\text{mol/kg}$). Uit de dataset van B-WARE zijn er indicaties dat toedienen van Dolokal het uitspoelen van K bespoedigt. Dit is ook niet onlogisch aangezien door het oplossen van Ca- en Mg-carbonaten uit de Dolokal, de concentratie aan Ca^{2+} en Mg^{2+} ionen in het bodemvocht sterk toeneemt waardoor K^+ van het bodemcomplex wordt verdrongen. K-gebrek leidt niet alleen tot groeistoornissen (o.a. slechte doorworteling) maar induceert ook een stikstofoverschot in de plant en maakt deze daardoor gevoeliger voor vraat en ziekten. Het is daarom raadzaam om, in het geval van een K-arme bodem (globale richtlijn: K-z < 250 $\mu\text{mol/l}$) ook een ander, relatief K-rijk, steenmeel toe te dienen (bijvoorbeeld Vulkamin). Op locatie 19 en 25 is de bodem K-arm (< 70 $\mu\text{mol K-z/l}$), zodat

.....

het advies is om te bekalken met 2000 kg Dolokal en 1000 kg K-rijk steenmeel (bijvoorbeeld Vulkamin) per hectare.

4. 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.
- Brouwer, E., E.C.H.E.T. Lucassen, M. Buiks & T. Onkelinx (2017) Competitive strength of Australian swamp stonecrop (*Crassula helmsii*). *Aquatic Invasions* **12** (3): 321-331.
- De Becker, P. (2004) Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende *Alno*/*Padion* en *Alnion incanae*/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbeschoud, Brussel.
- 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.
- Graaf, M.C.C. de, R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. van Diggelen & J.G.M. Roelofs (2009) Biodiversity, vegetation gradients and key geochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* **142**: 2191-2201.
- Klimkowska, A., R. van Diggelen, J.P. Bakker & A.P. Grootjans (2007) Wet meadow restoration in Western Europe: A quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biological Conservation* **140**: 318-328.
- Lamers, L.P.M., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H₂O* **38** (17): 28-30.
- Lamers, L., E. Lucassen, H. Tomassen, A. Smolders & J. Roelofs (2009) Verpitruising bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* **110** (1): 43-46.
- Loop, J. van der & H. van Kleef (2020) Omgaan met watercrassula in natuurgebieden. Uitgave Stichting Bargerveen, Nijmegen.
- 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, 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, H. Tomassen, J. Loermans & Fons Smolders (2012) Haalbaarheidsstudie 'Koolstoffixatie in het Zuidlaardermeergebied'. Bodem- en hydrochemisch onderzoek in de Oosterpolder, Harener Wildernis en (voormalige) landbouwpercelen. Rapportnummer 2012.49, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

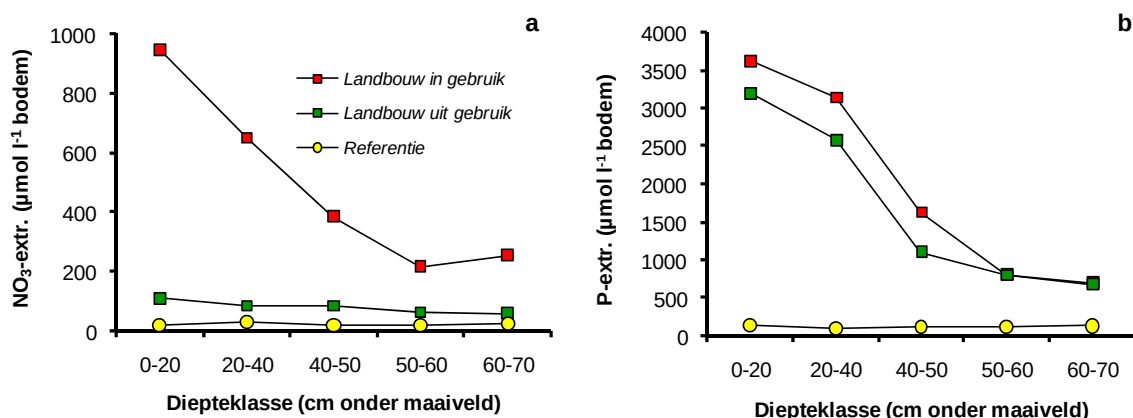
- Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M. Weijters, H.B.M. Tomassen, R. Bobbink & A.J.P. Smolders (2013) Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* **114**: 120-126.
- Mullekom, M. van & F. Smolders (2016) Bodemchemisch onderzoek Voorstonden en Leusveld. Rapportnummer 2016.01, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- 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.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* **110**: 33-38.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* **3**(4): 5-11.
- 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.

5. BIJLAGEN

Bijlage 1. Theoretische achtergronden natuurontwikkeling

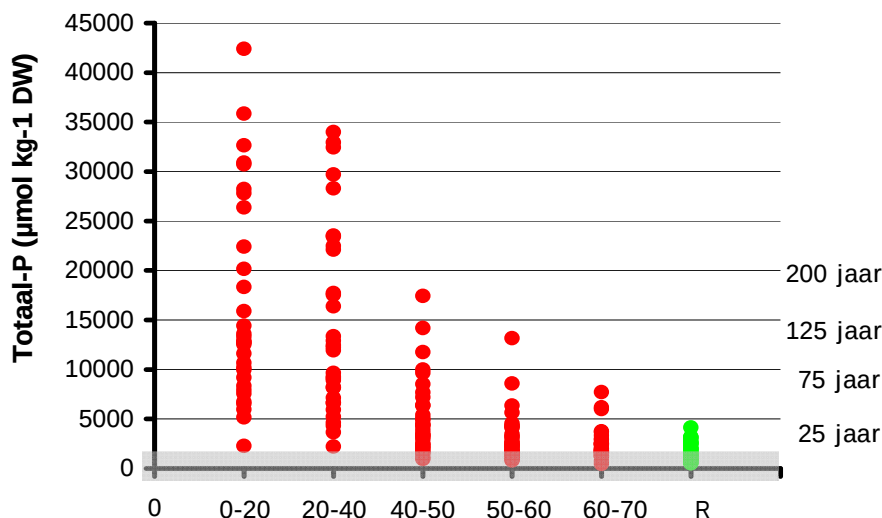
Nutriëntenbeschikbaarheid agrarische gronden

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



Figuur 14. Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) op verschillende diepten (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 Ausgangssituatie te krijgen (zeer kalkrijke bodems uitgezonderd) (Figuur 15; 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 Ausgangssituatie 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).



Figuur 15. 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).

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

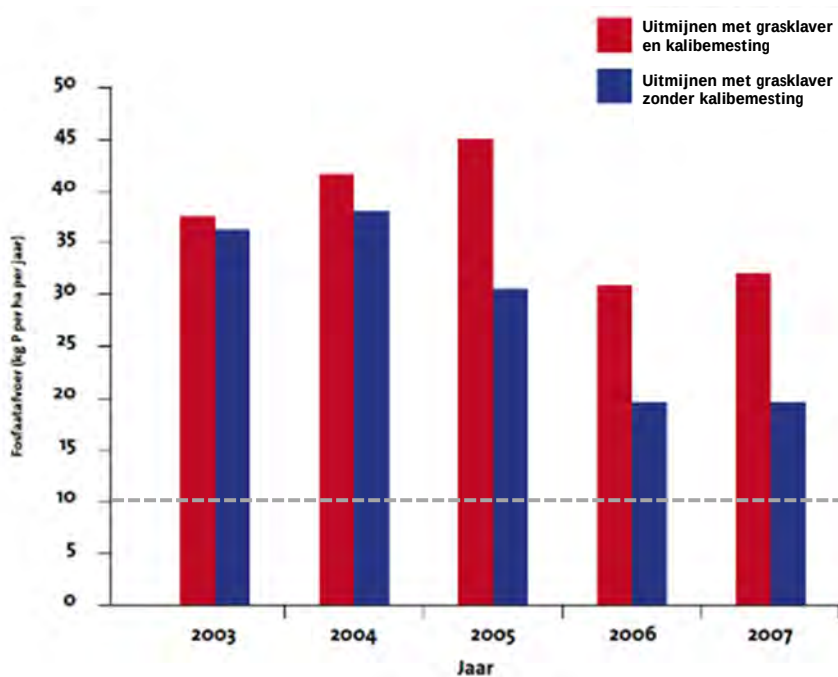
Bij extensieve begrazing worden nutriënten opgenomen door grazers. Via mest en urine komen ze dan elders weer vrij. Probleem hiervan is echter dat dit vooral leidt tot herverdeling van nutriënten binnen het gebied en veel minder tot de afvoer van nutriënten. Daarnaast worden bepaalde soorten als Pitrus (*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 15, Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2005).

Uitmijnen

Uitmijnen is een versterkte verschralling 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 16; 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.



Figuur 16. 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 (Lamers e.a., 2005; Smolders e.a., 2006; van Mullekom e.a., 2013). Deze diepte komt 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 verschralling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen de afstand tot het grondwater

.....
verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren voor ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur (van Mullekom e.a., 2007; 2013).

Potentiële nadelen van ontgronden zijn een aantasting van de geomorfologie van het gebied, aantasting van het ecohydrologische systeem 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 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, 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.

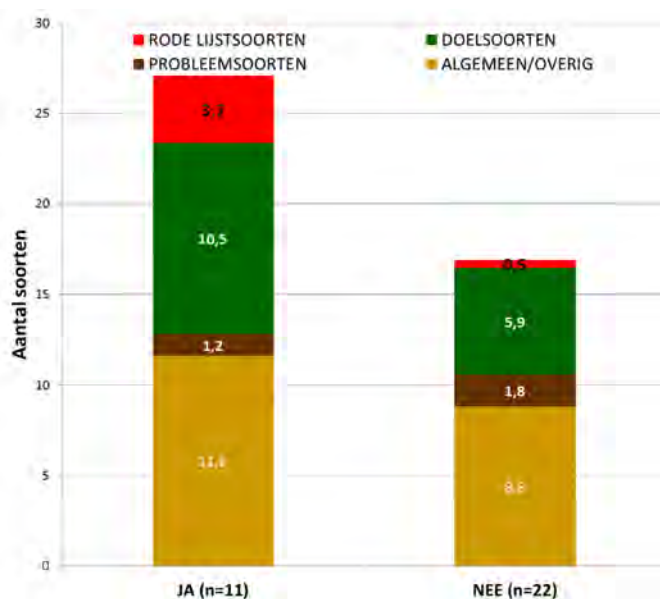
In het geval dat de natuurontwikkeling gepaard gaat met vernatting is het van belang om rekening te houden met veranderende redoxcondities (Smolders e.a., 2006). In de bodem zorgen geoxideerde ijzerverbindingen (ijzer(hydr)oxiden; roest) in belangrijke mate voor de vastlegging van fosfaat. Onder natte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

Aanvullende (beheer)maatregelen bij ontwikkeling P-gelimiteerde natuur

Op het moment dat een P-gelimiteerde uitgangssituatie is gecreëerd, is er vaak nog geen sprake van een gewenste vegetatieontwikkeling. De eerste jaren na het afgraven van de voedselrijke toplaag dient maaibeheer plaats te vinden om de ontwikkeling en uitbreiding van algemene/ruigtesoorten 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 (Figuur 17) 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.



Figuur 17. Het uitstrooien van heideplagsel en het resultaat na vier jaar. Foto's: Michael Roosmalen, Stichting Het Limburgs Landschap.



Figuur 18. 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. Bron: brochure 'van landbouw naar natuur' (B-WARE).

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 (Figuur 18; 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).

Op P-gelimiteerde bodems is de kans op de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie het grootste en het risico op ongewenste verruiging het kleinst. Wanneer 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 verschraling vereist is) verruiging met bijvoorbeeld pitrus optreden (Figuur 19) die een belemmering kan vormen voor de beoogde ontwikkeling. Overigens is de 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 direct kan gaan plaatsvinden en het risico op pitrusontwikkeling wordt beperkt.



Figuur 19. Pitrusontwikkeling op percelen die na inrichting nog beperkt tot matig verruigd zijn met fosfaat (Olsen-P concentraties 600-850 $\mu\text{mol/l}$). 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.



Figuur 20. 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 ontgroning, 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: Akkerenven (foto: Hein van Kleef).

Wanneer na een ontgroning nog sprake is van te voedselrijke omstandigheden is het risico op ongewenste, uitbundige groei van watercrassula ook groter (Figuur 20). Wanneer sprake is van voedselarme omstandigheden dan is dit risico kleiner. Mocht watercrassula 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.

Voor een succesvolle ontwikkeling zijn niet alleen de bodemchemische omstandigheden leidend. De hydrologie dient eveneens te worden geoptimaliseerd. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals heischrale graslanden, blauwgraslanden en dotterbloemhooilanden is grondwaterinvloed in de wortelzone of het maaiveld vereist van circa oktober/november t/m maart/april om verzuring, de vorming van regenwaterlenzen en de ontwikkeling van zure vegetaties (op kansrijke locaties voor (zwak) gebufferde schraallande/hooilanden) tegen te gaan. Op plekken waar regenwater stagneert kunnen veenmossen gaan domineren, vooral op gebufferde bodems omdat hier veel CO₂ beschikbaar komt. Tenslotte kan inundatie met P-rijk oppervlaktewater en/of de afzetting van P-rijk slib tot verrijking en daarmee tot verruiging leiden.

.....

Bijlage 2. Profielbeschrijvingen van de 32 boorlocaties volgens NEN5104. Profielbeschrijvingen zijn opgesteld door ATKB (Jan Vermeer).

Legenda:

Legenda (conform NEN 5104)

grind



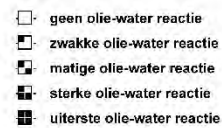
klei



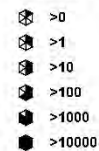
geur



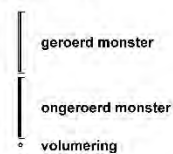
olie



p.i.d.-waarde



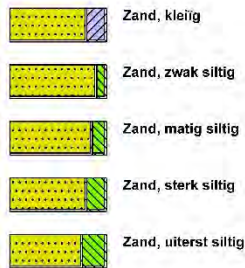
monsters



overig



zand



leem



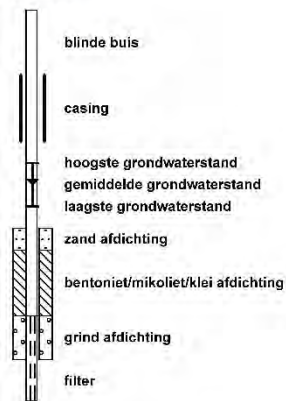
overige toevoegingen



veen



peilbuis



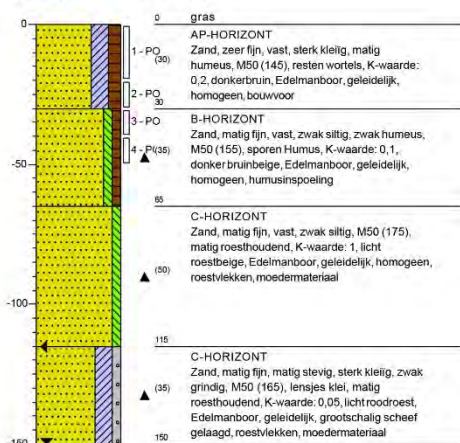


Boring: 01

X: 206333,72
Y: 460898,07
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 150
GHG: 115

Opmerking: NM, wel verpacht

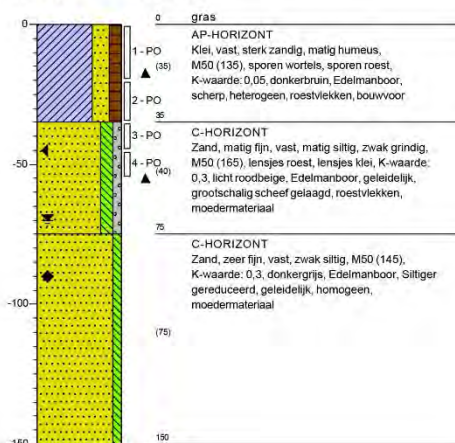


Boring: 02

X: 206523,58
Y: 460903,03
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 70
GHG: 45
GLG: 90

Opmerking: NM, wel verpacht

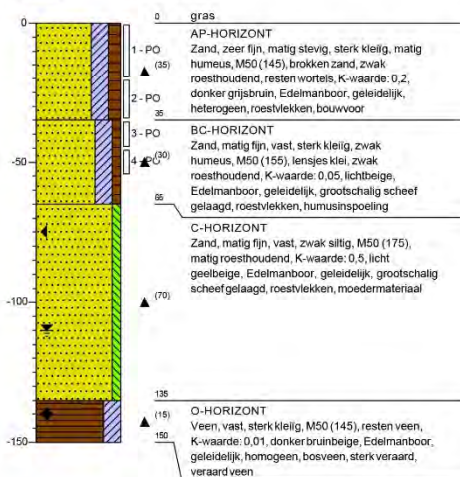


Boring: 03

X: 206474,23
Y: 460600,41
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 110
GHG: 75
GLG: 140

Opmerking: NM, wel verpacht

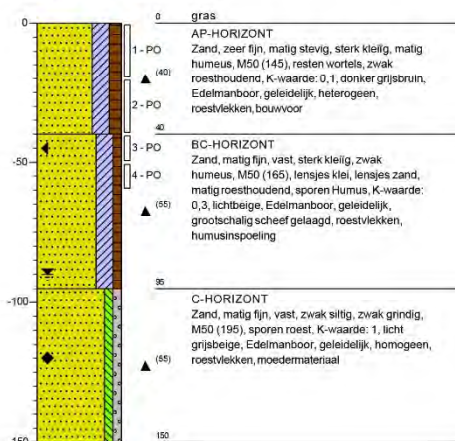


Boring: 04

X: 206616,17
Y: 460772,97
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 45
GLG: 120

Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

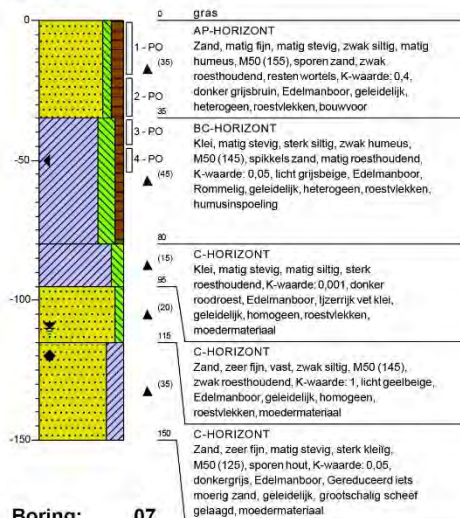
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 05

X: 206996,05
Y: 460016,77
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

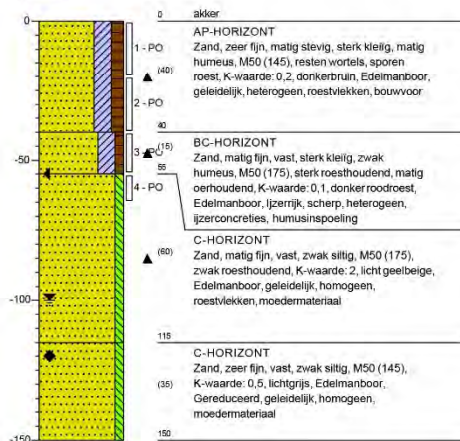
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 110
GHG: 50
GLG: 120
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 07

X: 205316,38
Y: 460059,17
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

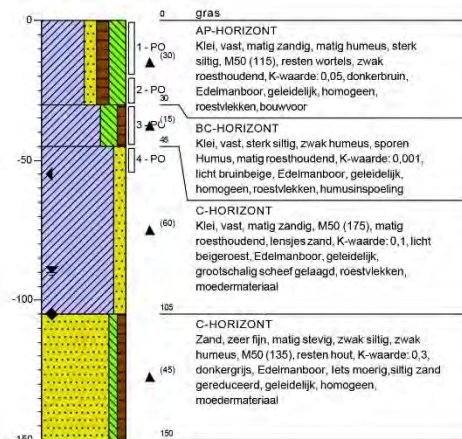
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 100
GHG: 55
GLG: 120
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 06

X: 207121,32
Y: 459966,15
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

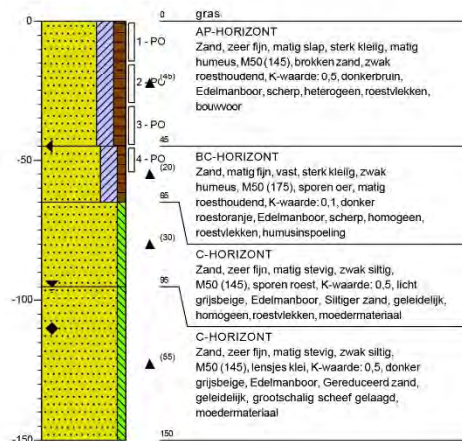
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 55
GLG: 105
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 08

X: 205665,00
Y: 459354,61
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 95
GHG: 45
GLG: 110
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

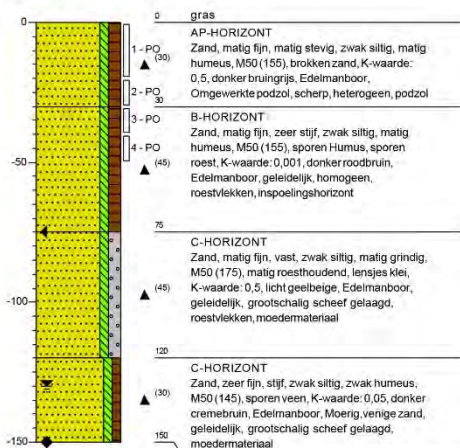
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 09

X: 204969,59
Y: 459292,84
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

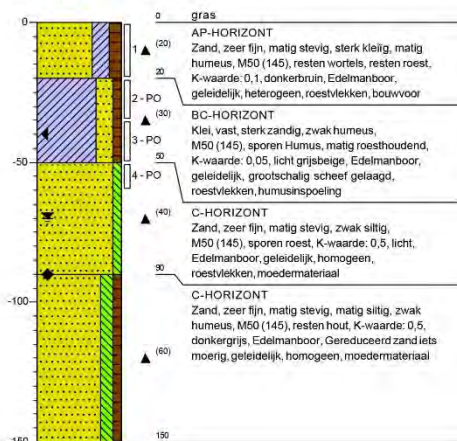
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 130
GHG: 75
GLG: 150
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 10

X: 205428,97
Y: 459017,87
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

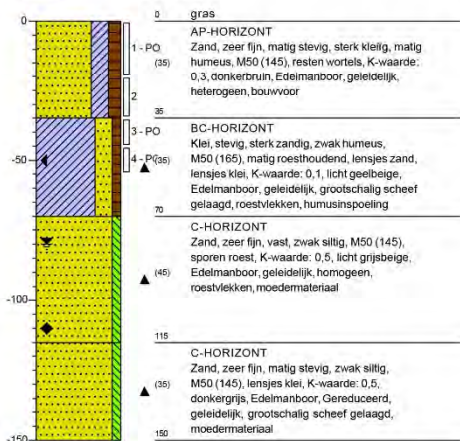
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 70
GHG: 40
GLG: 90
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 11

X: 205652,53
Y: 458736,91
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

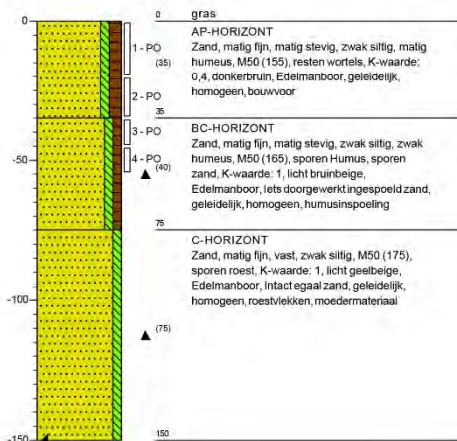
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 80
GHG: 50
GLG: 110
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 12

X: 205749,05
Y: 458161,38
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 150
GHG: 150
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

Projectnaam: WaardeVOL Brummen



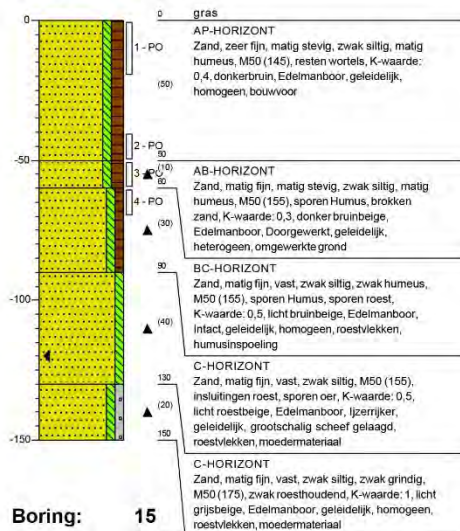
Boring: 13

X: 206172,21
Y: 457873,15
Datum: 11-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS

GHG: 120

Opmerking: particulier



Boring: 15

X: 206187,66
Y: 457652,49
Datum: 11-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

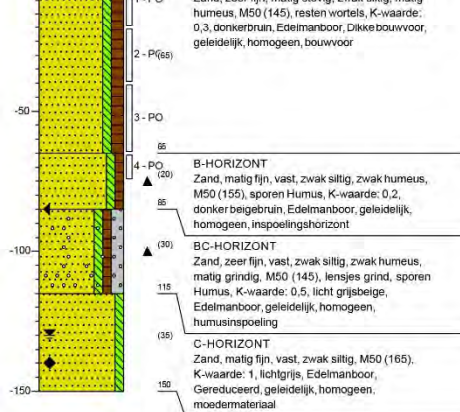
Nauwkeurigheid GPS: GPS

GWS: 130

GHG: 85

GLG: 140

Opmerking: particulier



Boring: 14

X: 205988,14
Y: 457801,48
Datum: 11-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

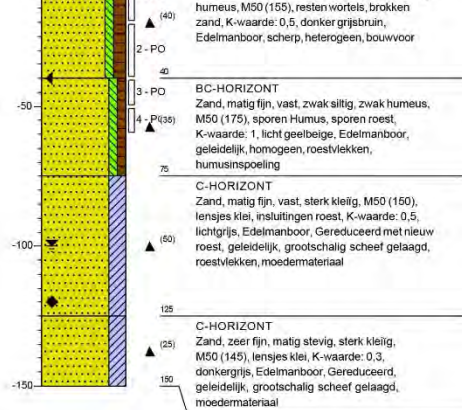
Nauwkeurigheid GPS: GPS

GWS: 100

GHG: 40

GLG: 120

Opmerking: particulier



Boring: 16

X: 206058,43
Y: 457546,29
Datum: 11-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

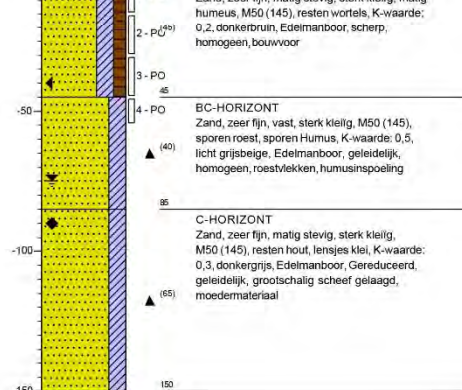
Nauwkeurigheid GPS: GPS

GWS: 75

GHG: 40

GLG: 90

Opmerking: particulier



Projectcode: PR-21.047

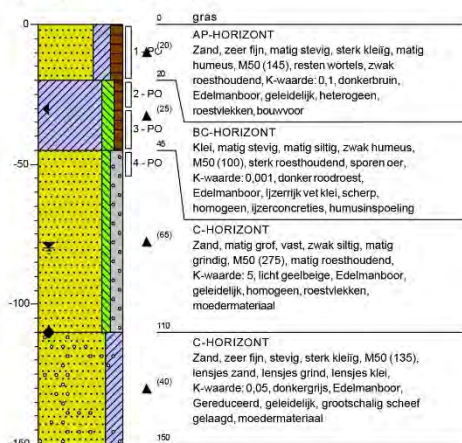
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 17

X: 205334,39
Y: 458314,37
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

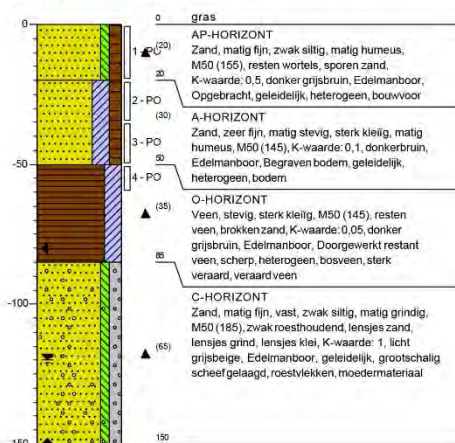
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 80
GHG: 30
GLG: 110
Opmerking: NM, niet verpacht



Boring: 18

X: 205464,04
Y: 457932,04
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

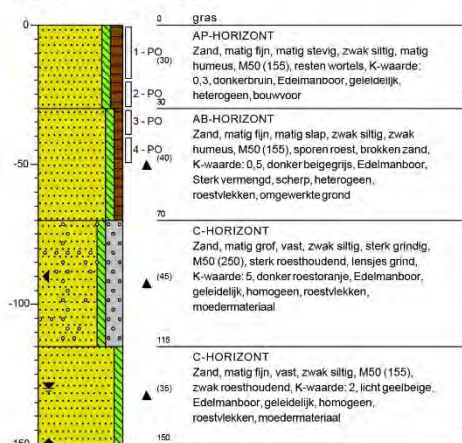
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 120
GHG: 80
GLG: 150
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 19

X: 205623,01
Y: 457834,07
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

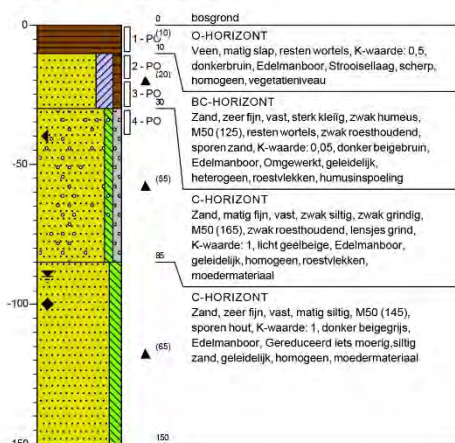
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 130
GHG: 90
GLG: 150
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 20

X: 205422,54
Y: 457673,17
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 40
GLG: 100
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

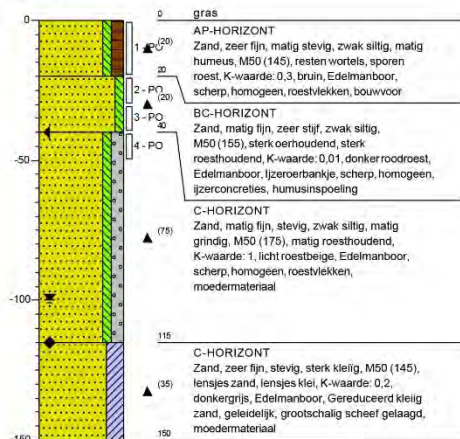
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 21

X: 204987,87
Y: 457863,22
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

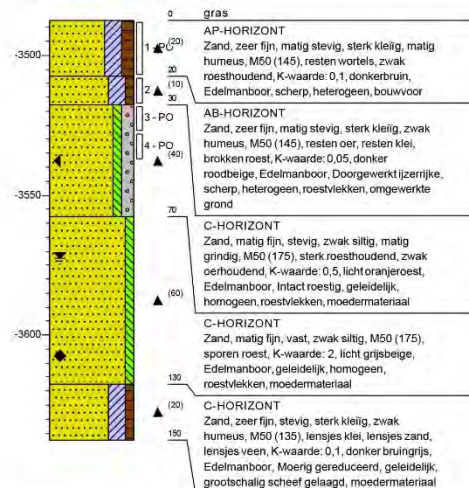
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 100
GHG: 40
GLG: 115
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 22

X: 205042,15
Y: 457791,32
Datum: 9-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

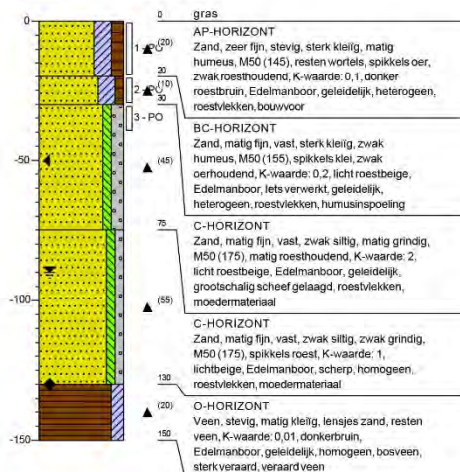
N.A.P.: -34,876
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 85
GHG: 50
GLG: 120
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 23

X: 204314,46
Y: 458019,61
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

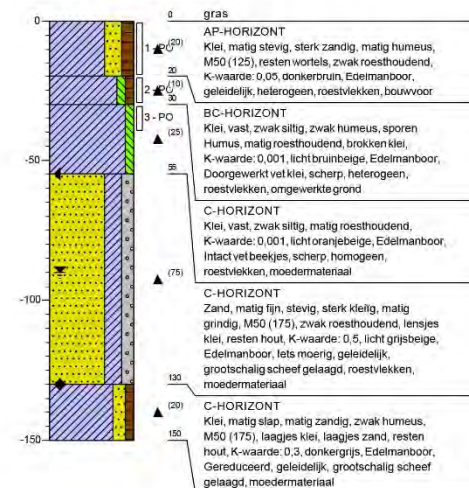
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 50
GLG: 130
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 24

X: 204040,54
Y: 457995,09
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 55
GLG: 130
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

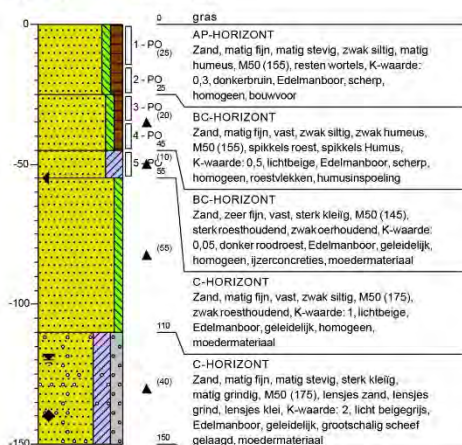
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 25

X: 203954,00
Y: 457844,01
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

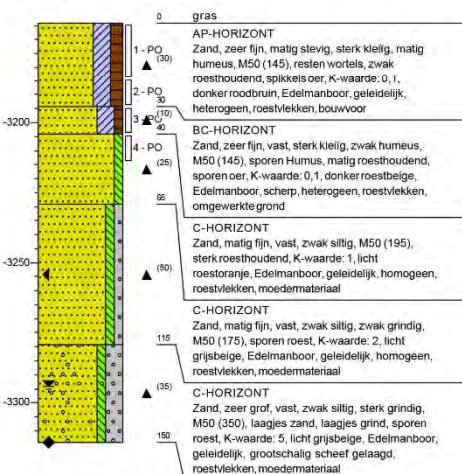
GWS: 120
GHG: 55
GLG: 140
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 27

X: 203908,80
Y: 457407,57
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

N.A.P.: -31,641
Nauwkeurigheid GPS: 31,641
GWS: 130
GHG: 90
GLG: 150
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

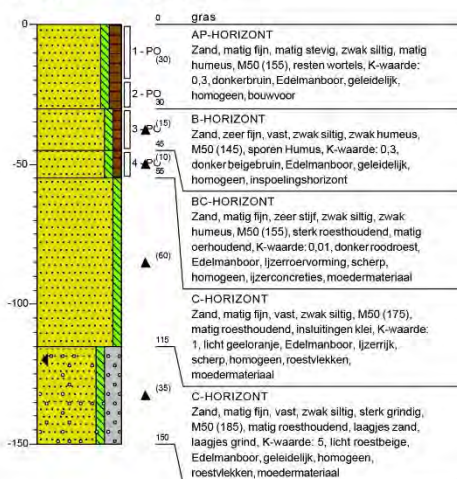
Projectnaam: WaardeVOL Brummen



Boring: 26

X: 203786,55
Y: 457503,22
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

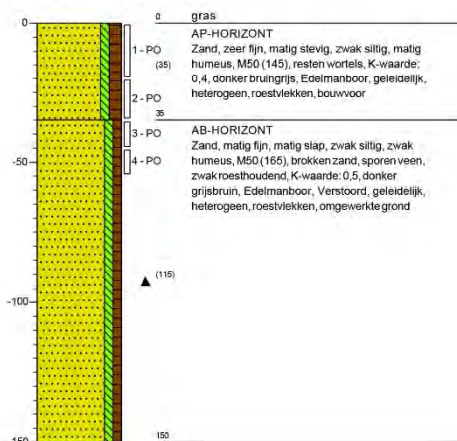
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GHG: 120
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 28

X: 204603,11
Y: 457319,91
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
Opmerking: NM, wel verpacht

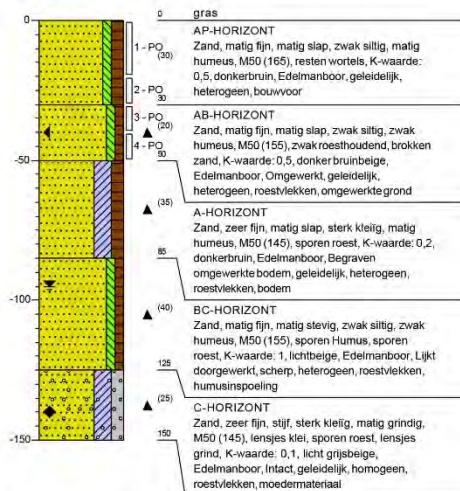




Boring: 29

X: 204629,53
Y: 457065,77
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

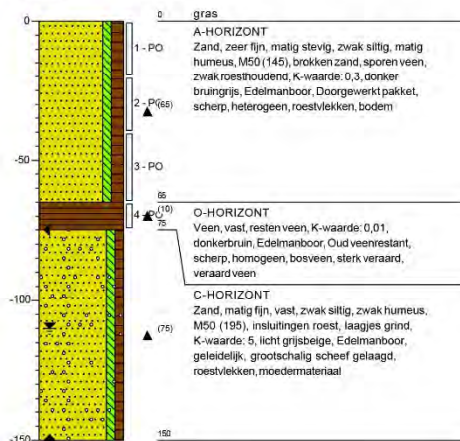
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 95
GHG: 40
GLG: 140
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 31

X: 205050,45
Y: 456801,31
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

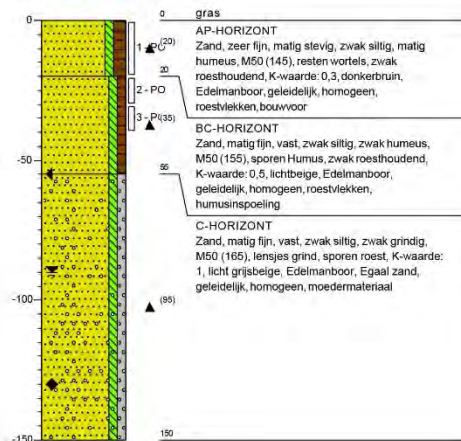
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 110
GHG: 75
GLG: 150
Opmerking: particulier



Boring: 30

X: 205052,70
Y: 456942,52
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

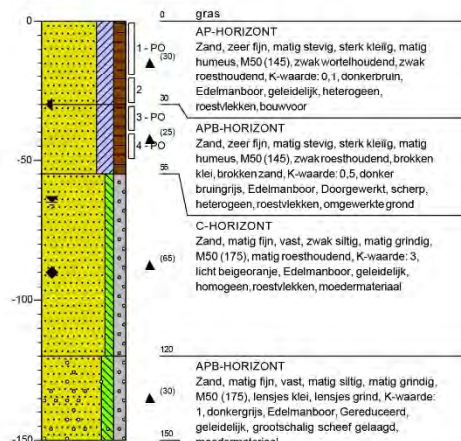
Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 90
GHG: 55
GLG: 130
Opmerking: NM, wel verpacht



Boring: 32

X: 204577,48
Y: 456635,20
Datum: 10-8-2021
Boormeester: Jan Vermeer

Nauwkeurigheid GPS: GPS
GWS: 65
GHG: 30
GLG: 90
Opmerking: NM, wel verpacht



Projectcode: PR-21.047

Projectnaam: WaardeVOL Brummen

.....

B
ware

www.b-ware.eu