

 Gemeente Brummen	Hoort bij besluit van het college van Brummen BESLUIT-2021-1062-Bijlage_3_Bodem
---	--

Bodemchemisch onderzoek Voorstonden en Leusveld



Eindrapportage

Titel rapport:
Bodemchemisch onderzoek Voorstonden en Leusveld

Auteurs:
Mark van Mullekom & Fons Smolders

Opdrachtgever:
Natuurmonumenten

Rapportnummer: 2016.01



Contactgegevens:

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

Contactpersoon:
Mark van Mullekom
Tel: 024-2122204
m.vanmullekom@b-ware.eu
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2016.

Inhoudsopgave

1. Aanleiding en doel van het onderzoek	7
1.1. Aanleiding en gebiedsbeschrijving	7
1.2. Doel van het onderzoek	9
2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden	11
3. Veldwerkzaamheden en analyses	15
3.1. Veldwerkzaamheden	15
3.2. Analyses	19
4. Natuurontwikkelingsmogelijkheden	21
4.1. Algemene bodemchemie en trends in de diepte	21
4.2. Referentielocaties	24
4.3. Natuurpotenties van de voormalige landbouwgronden	27
4.4. Conclusies	37
4.5. Aanvullende inrichtingsmaatregelen	40
5. Literatuur	43
Bijlage 1. Coördinaten monsterlocaties	45

1. Aanleiding en doel van het onderzoek

1.1. Aanleiding en gebiedsbeschrijving (Bell Hullenaar, 2015)

Voorstonden en Leusveld zijn twee aan elkaar grenzende landgoederen ten noordwesten van Brummen, op de overgang van de droge zandgronden op de oostelijke flank van de Veluwe naar het vochtige rivierkleigebied van het IJsseldal. Omdat de natuur van de landgoederen van uitzonderlijke betekenis is, zijn beide gebieden (tezamen met het nabij gelegen natuurgebied Empese en Tondense Heide) aangewezen als Natura 2000-gebied 'Landgoederen Brummen'. Het Natura 2000-gebied dankt zijn kwaliteit vooral aan de aanwezigheid van een gevarieerde geomorfologie en bodemopbouw, de aanwezigheid van kalkrijk kwelwater en het feit dat ontginning achter is gebleven ten opzichte van de omgeving. De habitattypen op grond waarvan de aanwijzing heeft plaatsgevonden zijn veelal grondwaterafhankelijk. De belangrijkste hiervan op beide landgoederen zijn Vochtig alluviaal bos (Elzenbroekbos), Blauwgrasland en Heischraal grasland. Deze habitattypen, en ook andere grondwaterafhankelijke natuurtypen (zoals Dotterbloemgrasland) zijn in de huidige situatie echter slechts in versnipperde vorm en over geringe oppervlakten aanwezig, en daar waar deze typen wel aanwezig zijn laat de kwaliteit ervan meestal te wensen over.



Figuur 1.1. Foto's van enkele om te vormen voormalige landbouwgronden.

De belangrijkste problemen zijn dat het kalkrijke kwelwater niet goed tot in de wortelzone kan doordringen als gevolg van aantastingen van het hydrologisch systeem. In combinatie hiermee is

er ook vaak sprake van een te hoge voedselrijkdom van de bodem, vanwege voormalig landbouwkundig gebruik, of (ter plaatse van gronden die regulier worden verpacht) nog aanwezig landbouwkundig gebruik. Omdat de landgoederen tezamen een grote oppervlakte beslaan, en ook een aantal particulieren in de omgeving geïnteresseerd zijn in een meer groene ontwikkeling van hun eigendommen, liggen er momenteel kansen om tot een verregaand herstel van het hydrologische systeem te komen.

Door bureau Bell Hullenaar wordt, in opdracht van Natuurmonumenten, een ecohydrologisch onderzoek uitgevoerd in beide landgoederen op basis waarvan een concreet herstelplan wordt opgesteld. Onderzoekcentrum B-WARE heeft het bodemchemische deel van het onderzoek voor haar rekening genomen en enkele grondwaterkwaliteitsmetingen uitgevoerd. De grondwaterkwaliteitsmetingen komen niet aan bod in deze rapportage maar zijn door Bell Hullenaar reeds verwerkt in de (concept) systeemanalyse (Bell Hullenaar, 2015). Deze rapportage is sec gericht op het bodemchemisch onderzoek.

In 2010 is door Onderzoekcentrum B-WARE reeds een bodemonderzoek uitgevoerd in samenwerking met Bell Hullenaar (in opdracht van Natuurmonumenten). Dit betrof enkele voormalige landbouwpercelen in de deelgebieden Voorstonden, Leusveld, Hiemberg en Soerense Broek (Van Mullekom & Smolders, 2011). De referentielocaties uit de gebieden Voorstonden, Leusveld en Hiemberg zijn verwerkt in deze rapportage.

Vanwege de vroegere intensieve bemesting is de toplaag van de bodem in deze resterende deelgebieden naar verwachting verrijkt met fosfaat. Om herstel / ontwikkeling van waardevolle, schrale natuurtypen (met name nat schraalland en vochtig hooiland) mogelijk te maken dient effectieve verschraling van de bodem plaats te vinden. Om af te leiden op welke wijze de bodem het best kan worden verschraald (maaïen & afvoeren, uitmijnen of ontgraven van de fosfaatrijke toplaag) is dit bodemchemisch onderzoek uitgevoerd.

Naast de bodemchemie en het bodemtype zijn ook de grondwaterkwaliteit en (variatie in) grondwaterstanden van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Deze (geo)hydrologische aspecten maken geen onderdeel uit van dit bodemchemisch onderzoek maar worden door Bell Hullenaar geïntegreerd in het uiteindelijke advies. De resultaten uit dit onderzoek kunnen sterk bepalend zijn voor de keuzes die bij de gebiedsinrichting gemaakt worden. De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de fosfaattoestand en de kansrijkdom qua bodemchemie. 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 hydrologische systeem. De hoogteligging en bodemopbouw spelen hierbij een belangrijke rol.

Bell Hullenaar zal de resultaten van het bodemonderzoek integreren met de genoemde aspecten en de meest geschikte inrichtingsmaatregelen vaststellen. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. Wel vormen de resultaten van dit project een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

1.2. Doel van het onderzoek

Door middel van het bodemchemisch onderzoek zijn de potenties van de (voormalige) landbouwgronden in kaart gebracht. De volgende vragen worden beantwoord:

- 1) Wat zijn de P-concentraties in de toplaag van de voormalige landbouwgronden en hoe lang duurt het om deze te verschrallen door middel van maaien en afvoeren?
- 2) Tot op welke diepte is de bodem van de voormalige landbouwgronden verrijkt met fosfor, wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte?
- 3) Wat zijn de bodemchemische omstandigheden op de referentielocaties?
- 4) Welke natuurpotenties zijn er op de voormalige landbouwgronden op basis van de bodemchemie?
- 5) Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen bij de omvorming van voormalige landbouwgronden naar soortenrijke, voedselarme natuurbeheertypen?

2. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden

De bodem is geen statische entiteit. Bodembiota hebben een belangrijke invloed op de bodemstructuur, humusopbouw, vorming van bodemhorizonten en nutriëntenbeschikbaarheid. De abiotische bodemcondities zijn in belangrijke mate sturend voor de vegetatie. Ze zijn relatief eenvoudig te meten en te interpreteren en worden dan ook vaak gebruikt om veranderingen in de vegetatiesamenstelling te begrijpen en beheers- of herstelmaatregelen op te stellen in het kader van bijvoorbeeld natuurontwikkelingsprojecten.

Als gevolg van het zeer intensieve gebruik van het agrarisch gebied in Nederland levert de omvorming van voormalige landbouwgronden tot voedselarme (natte) natuurgebieden vaak problemen op. Wanneer gestreefd wordt naar de ontwikkeling van natuurbeheertypen als nat schraalland (N10-01) of vochtig hooiland (N10-02) is een (matig) voedselarm milieu vereist. Wanneer er in de bodem een overmaat is aan alle voedingstoffen gaan enkele snelgroeiende soorten (Gestreepte witbol, Gewoon struisgras, Akkerdistel, Witte klaver of Engels raaigras) overheersen en ontstaat een ruigtevegetatie. In vochtige tot natte P-rijke terreindelen treedt vaak massale groei van Pitrus of algenbloei op (figuur 2.1 en figuur 2.2).



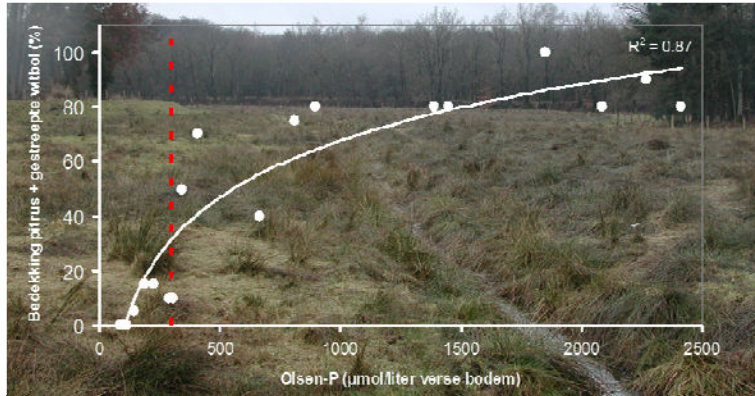
Figuur 2.1. Pitrusontwikkeling en verruiging op (natte) voormalige landbouwgronden na het onvoldoende verwijderen van de fosfaatrijke grond. Foto's: Maarten Veldhuis en Mark van Mullekom.

De kansen op een goede natuurontwikkeling (en het vóórkomen van doelsoorten) op voormalige landbouwgronden, wordt sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (P) in de bodem. In dit onderzoek zijn twee fosfaatconcentraties leidend: de totaal-P concentratie (totale hoeveelheid fosfor in de bodem) en de Olsen-P concentratie (de voor planten beschikbare hoeveelheid fosfor). Welke natuurbeheertypen zich kunnen ontwikkelen is echter niet alleen afhankelijk van de fosfaatconcentraties maar ook, onder andere, van de pH en de mate van buffering van de bodem en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater.

Een bruikbare grenswaarde voor P-deficiëntie van bodems is een Olsen-P concentratie van 200-350 micromol P per liter verse bodem (figuur 2.2). Deze concentraties worden over het algemeen gemeten in soortenrijke vegetatietypen van voedselarme gronden. De Olsen-P concentraties in de toplaag van landbouwgronden liggen meestal echter ver boven de vereiste niveaus.

Daarnaast zijn de totaal-P concentraties van de bodems van belang. Uit de totale fosfaatvoorraad kan door bodemprocessen weer P vrijkomen in de plantbeschikbare P-fractie. IJzerrijke bodems en kleibodems zijn van nature vaak relatief rijk aan totaal-P. Dergelijke bodems binden namelijk zeer goed fosfaat. Aangezien het fosfaat ook voor een groot deel wordt geïmmobiliseerd, kan op dit soort bodems de P-beschikbaarheid toch relatief laag blijven. Wel zullen dan veelal wat

minder schrale graslandtypen kunnen worden ontwikkeld, zoals Dotterbloemhooilanden, Glanshaverhooilanden en Kamgrasweiden. Voor dit soort vegetatietype kan een Olsen-P grenswaarde worden gehanteerd van ± 500 -1000 micromol per liter verse bodem.



Figuur 2.2. Relatie tussen de concentratie Olsen-P in de bodem en de bedekking van ruigtesoorten Pitrus en Witbol (Smolders et al., 2008).

Wanneer de vereiste inrichtingsmaatregelen te ingrijpend of niet te realiseren zijn kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland. ‘Kruidenrijk grasland’ is een breed begrip waardoor er eigenlijk geen harde streefconcentratie voor te hanteren is. In dit onderzoek wordt gerekend met een indicatieve Olsen-P streefconcentratie van circa (1200-)1500 $\mu\text{mol/l}$. 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 labiele P-fractie voldoende laag is ($P\text{-}z < 1$). Uit lopend onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is.

Als gevolg van het landbouwkundig gebruik is er een overmaat aan nutriënten aanwezig in de bodem. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid vaak sterk af. Voor de fosfaatbeschikbaarheid gaat dit niet op omdat dit in de bodem sterk wordt gebonden. Hiervoor is specifieke verschraling vereist. Het afvoeren van nutriënten via het gewas gaat echter langzaam, omdat slechts een klein deel van de drogestof uit N, P of K bestaat. Verschraling van voormalige landbouwgronde door middel van maaien en afvoeren (P-afvoer 10 kg/ha/jr) duurt veelal tientallen tot honderden jaren. Dit neemt echter niet weg dat het goed kan worden toegepast om, eventueel in combinatie met andere maatregelen, fosfaat af te voeren. Daarnaast voorkomt maaien het ontwikkelen van bomen en struwelen. Een alternatief is uitmijnen (gemiddelde P-afvoer 40 kg/ha/jr): een ‘natuurvriendelijke’ vorm van het voeren van intensieve landbouw met een productieve zode (inclusief stikstof en kalibemesting) of met een grasklavermengsel (inclusief kalibemesting) de P-afvoer worden vergroot. Een mogelijk nadeel van verschrallingsbeheer is dat doorgaans slechts de bovenste 25(-30) cm van de bodem wordt verschraald wat een probleem kan zijn in grondwatergevoede systemen met een relatief dikke (>40 cm) voedselrijke bouwvoor. Door middel van uitmijnen kan fosfaat ongeveer vier keer zo snel aan de bodem worden onttrokken.

Inzet van grazers in weiden en halfopen landschappen voorkomt het dichtgroeien waardoor variatie in het gebied ontstaat. Begrazing van natte terreinen waarin zich Pitrus heeft gevestigd, lijkt vaak een averechts effect te hebben, omdat de meeste grazers nauwelijks Pitrus eten. Door betreding ontstaan bovendien open plekken in de vegetatie waar Pitrus weer kan kiemen en de

dominantie hiervan juist toeneemt. De netto afvoer van nutriënten door middel van begrazen is echter beperkt.

Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag daarom in veel gevallen een geschikt alternatief. De ontgrondingsdiepte kan worden bepaald door op verschillende diepten de Olsen-P en totaal-P concentratie te meten. Deze maatregel dient te worden getoetst op de inpasbaarheid in het hydrologische systeem.

Na ontgroning wordt het introduceren van doelsoorten (vers maaisel/plagsel) uit lokale referentiegebieden geadviseerd. Zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich namelijk doorgaans niet of slechts na lange tijd. Op de vaak sterk ontwaterde en sterk bemeste voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank vaak niets meer over. Natte, venige laagtes kunnen een uitzondering vormen. Het achterwege laten van deze maatregel is zonde van de vele inspanningen die zijn gedaan om de juiste abiotische randvoorwaarden (bodem en hydrologie) te creëren voor de beoogde doelsoorten.

In grondwatergevoede systemen is de grondwaterinvloed en -kwaliteit van belang. Het grondwater dient globaal van oktober tot april uit te treden aan maaiveld of via capillaire opstijging de wortelzone te bereiken. De periode die nodig is om de basenvoorraad 'op te laden' in de winter is afhankelijk van de basenrijkdom (hardheid) van het water. Tijdens de lichte verdroging in de zomer moet de basenvoorraad namelijk voldoende zijn om een al te grote verzuring door oxidatie te voorkomen.

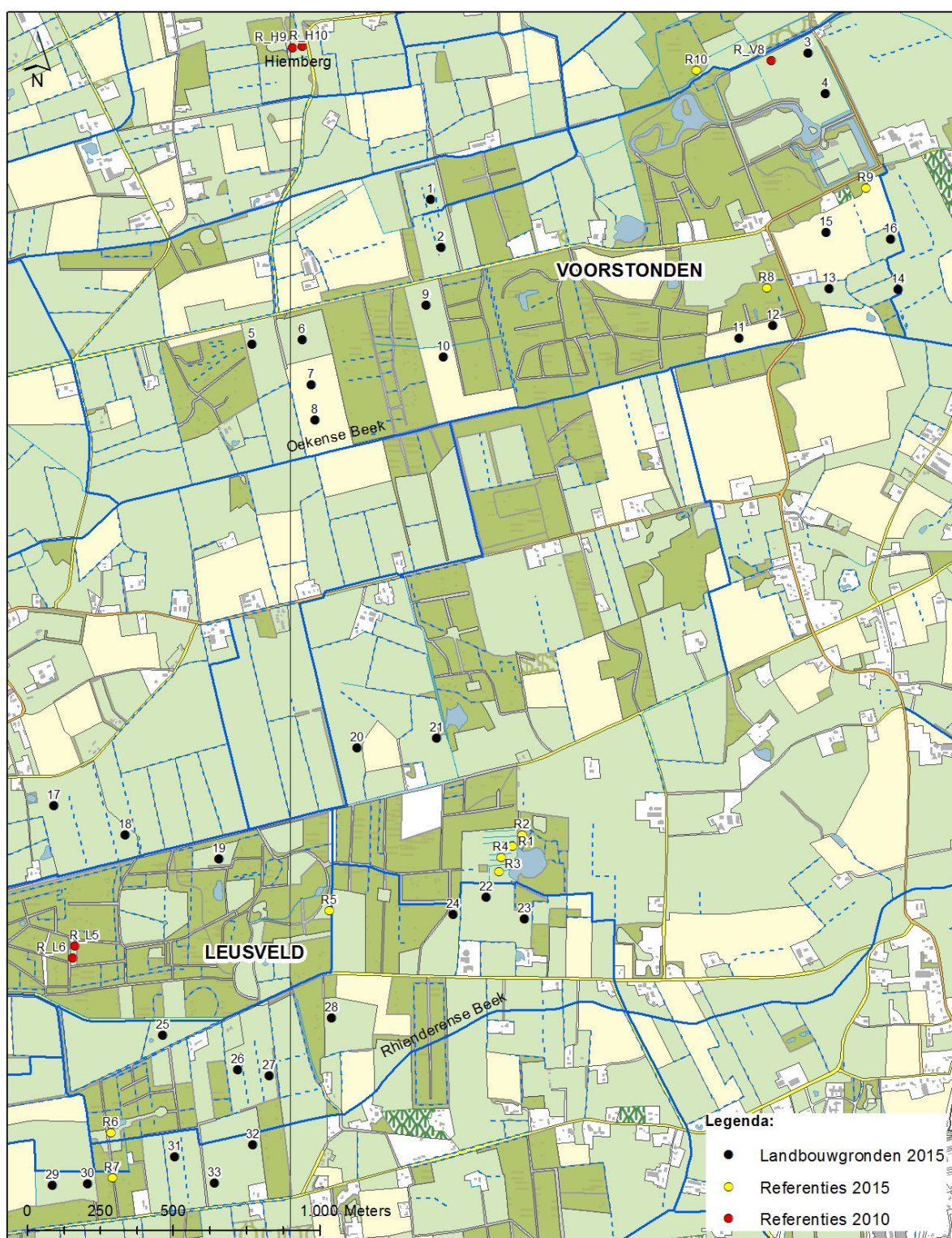
Indien (her)vernatting van grondwatergevoede systemen plaatsvindt, door maaiveldverlaging of bijvoorbeeld het dempen van ontwateringssloten, is het van belang dat voldoende doorstroming plaatsvindt. Stagnatie van water kan leiden tot het vrijkomen van fosfor en ongewenste verzuiging. Dit wordt versterkt onder sulfaatrijke omstandigheden. Afvoer vindt, indien mogelijk, bij voorkeur plaats via het bestaande reliëf. Daarnaast is het van belang om een natuurlijk peilbeheer te hanteren met wisselende waterstanden. Droogval van de toplaag in de zomermaanden is vaak essentieel voor de immobilisatie van fosfaat en de vegetatieontwikkeling. Het vrijkomen van fosfaat gaat onder natte omstandigheden sneller bij hoge (zomer)temperaturen dan bij lagere (winter)temperaturen.

3. Veldwerkzaamheden en analyses

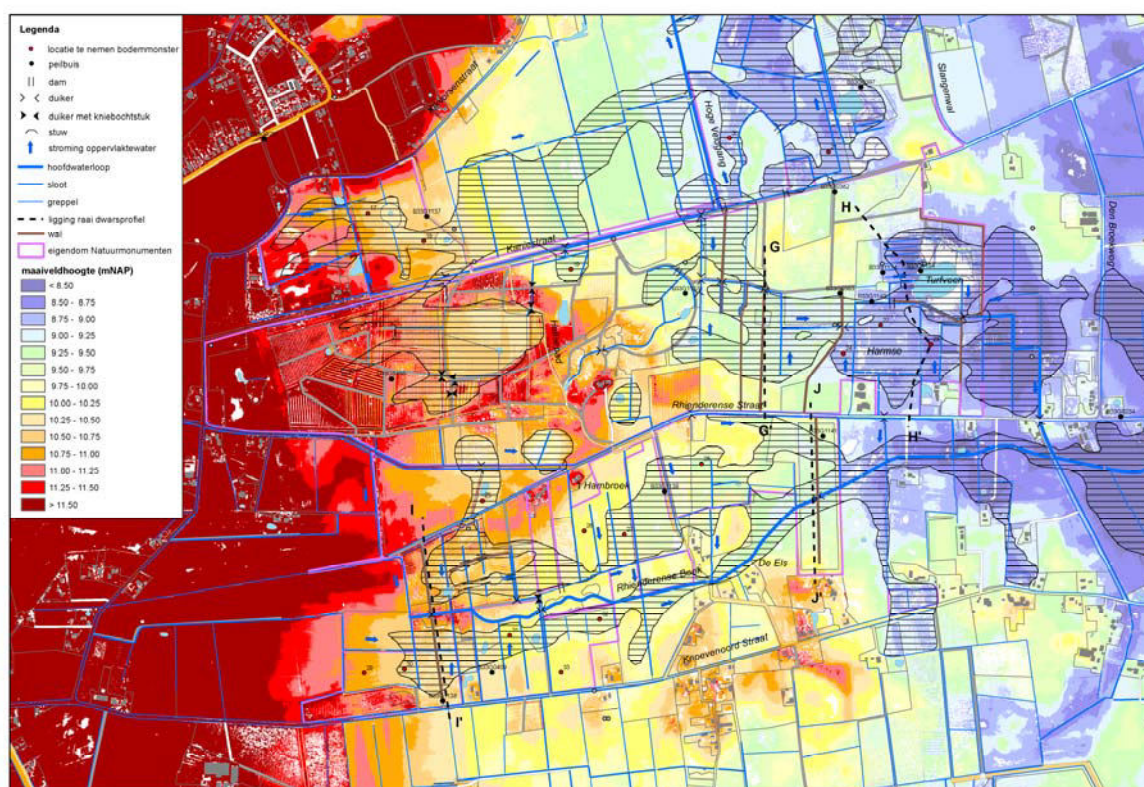
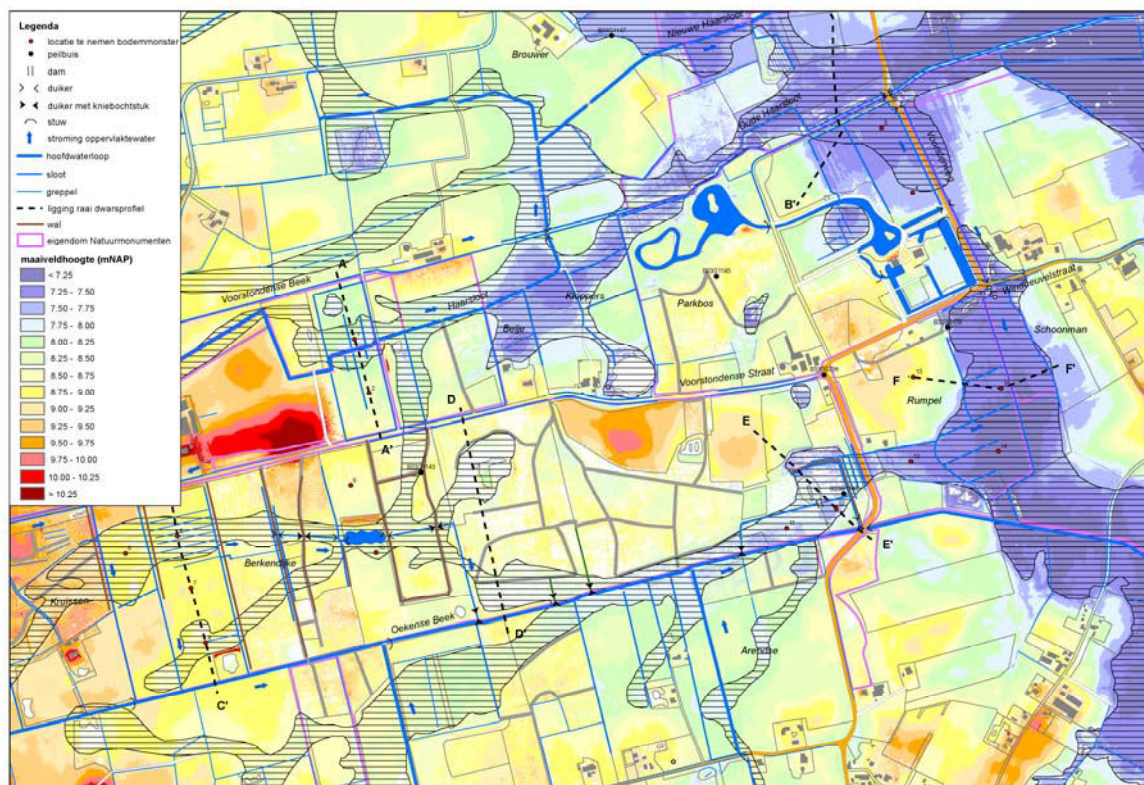
3.1. Veldwerkzaamheden

Door Ecohydrologisch Adviesbureau Bell Hullenaar werden 33 monsterlocaties vastgesteld, gelegen in laagtes/slenken (26 locaties) of op een hoge kop (7 locaties) in het landschap, verspreid over vier deelgebieden. Op 7 en 8 oktober 2015 werden 103 bodemmonsters verzameld waarbij per locatie op circa 3 dieptes werd bemonsterd. De exacte monsterdieptes waren afhankelijk van de boorprofielen. Over het algemeen is de bouwvoor bemonsterd (variërend van $\pm 10-40$ cm) en twee dieptes onder de bouwvoor. Lokaal is op basis van de aangetroffen bodemprofielen een extra bodemmonster verzameld. De 33 monsterlocaties worden gegeven in figuur 3.1 en 3.2 (op een hoogtekkaart).

Als aanvulling op het onderzoek werden op 2 oktober 2015, tijdens een gebiedsverkenning met Jan-Willem van 't Hullenaar door B-WARE bodemmonsters verzameld op 10 referentielocaties in het gebied (figuur 3.1). Ook de in 2010 verzamelde bodems op referentielocaties in de gebieden Voorstonden, Leusveld en Hiemberg (Van Mullekom & Smolders, 2011) zijn verwerkt in deze rapportage.



Figuur 3.1. Overzicht van de 33 monsterlocaties op voormalige landbouwgronden en de 15 referentielocaties (waarvan 5 uit 2010).



Figuur 3.2. Hoogtekaart van de deelgebieden Voorstonden (boven) en Leusveld (onder) waarop de ligging van de slenken door middel van een arcering is weergegeven. Bron: Bell Hullenaar.



R2



R3



R4 (globaal overzicht)



R6



R8



R10

Figuur 3.3. Foto's van de referentielocaties waarbij: R2: Elzenbroekbos. R3: bosbieszone. R4: schraalland /hooiland. R6: heischraal grasland of blauwgrasland. R8: ontwaterd alluviaal bos (rabatten). R10: geplagde zone (30 cm) met elzenopslag en pitrusontwikkeling.

3.2. Analyses

De volgende analyses zijn uitgevoerd op het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE:

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door een vast volume van het bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60 °C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal terug gewogen en het vochtverlies berekend. Dit alles werd in duplo uitgevoerd. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Na het uitgloeien van de monsters werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Olsenextractie

Het Olsen-extract werd uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat. Hiervoor werd 3 gram droog bodemmateriaal met 60 ml Olsen-extract (0,5 M NaHCO₃ bij pH 8,4) gedurende 30 minuten uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. Het extract werd vervolgens geanalyseerd op een ICP_AES. Uit onderzoek op voormalige landbouwgebieden is gebleken dat een Olsen-P concentratie van 300 µmol per liter bodem als een grenswaarde kan worden beschouwd waarboven een ernstige verzuuring van de vegetatie optreedt op zand- en veenbodems. Met name ijzerrijke kleibodems (> 100 mmol Fe/l FW) binden veel fosfaat. Hierdoor kunnen voor kleibodems en andere ijzer- en/of calciumrijke bodems hogere Olsen-P grenswaarden worden gehanteerd in vergelijking met zand- of veenbodems. Over het algemeen kan op kleiige of (zeer) ijzer- en/of calciumrijke bodems een Olsen-P grenswaarde worden gehanteerd van 500-900 µmol/l FW. Wel zullen dan over het algemeen de wat voedselrijkere natuurdoeltypen tot ontwikkeling komen.

Zoutextractie

In de zoutextracten (alleen uitgevoerd op een selectie van bodems) werd de eerst pH van de bodem bepaald. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2M NaCl) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat dat gemeten werd op de ICP word aangezuurd en opgeslagen voor analyse. Vervolgens werd de hoeveelheid NO₃, NH₄, Al en Ca bepaald, alsmede de hoeveelheid P en kationen, gemeten in het extract op de ICP en Autoanalyser. Bij een zoutextractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. De aluminium/calcium-ratio geeft een goede indicatie van de buffercapaciteit van de bodem. De P-z concentratie is een goede maat voor de concentratie labiel gebonden fosfaat.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Dit werd uitgevoerd door het bodemmateriaal na het drogen op 60 °C te vermalen. Van het bodemmateriaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie

werden de monsters overgegoten in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml door toevoeging van milli-Q water. Analyse vond plaats op de Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-AES; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL).

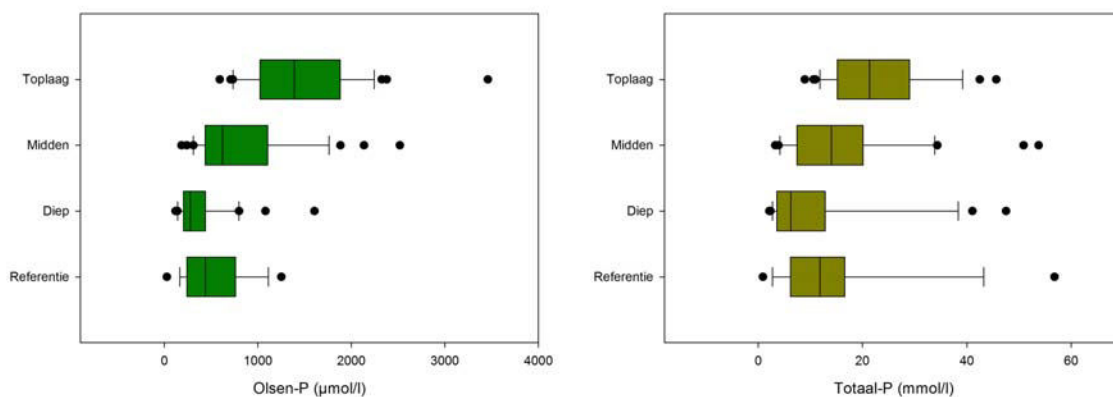
Monsteranalyse

De pH van het zoutextract werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De concentraties natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald en de ammonium (NH₄⁺), nitraat (NO₃⁻), fosfaat (PO₄³⁻) en chloride (Cl⁻) concentraties aan de hand van kleurreacties met autoanalyser-technieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>). De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), zwavel (S), fosfor (P), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en silicium (Si) werden gemeten met behulp van een ICP-OES (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>).

4. Natuurontwikkelingsmogelijkheden per deelgebied

4.1. Algemene bodemchemie en trends in de diepte

Een lage fosfaatbeschikbaarheid biedt, zoals beschreven in hoofdstuk 2, goede kansen voor de ontwikkeling van (vochtige-natte) voedselarme natuur. Als gevolg van het landbouwkundig gebruik is de P-beschikbaarheid voor planten (Olsen-P concentratie) en de totaal-P concentratie (lokaal fors) te hoog. Zowel de totaal-P concentraties als de Olsen-P concentraties nemen over het algemeen af in de diepte (figuur 4.1). In paragraaf 4.2 worden per deelgebied en per monsterlocatie de natuurontwikkelingsmogelijkheden toegelicht.



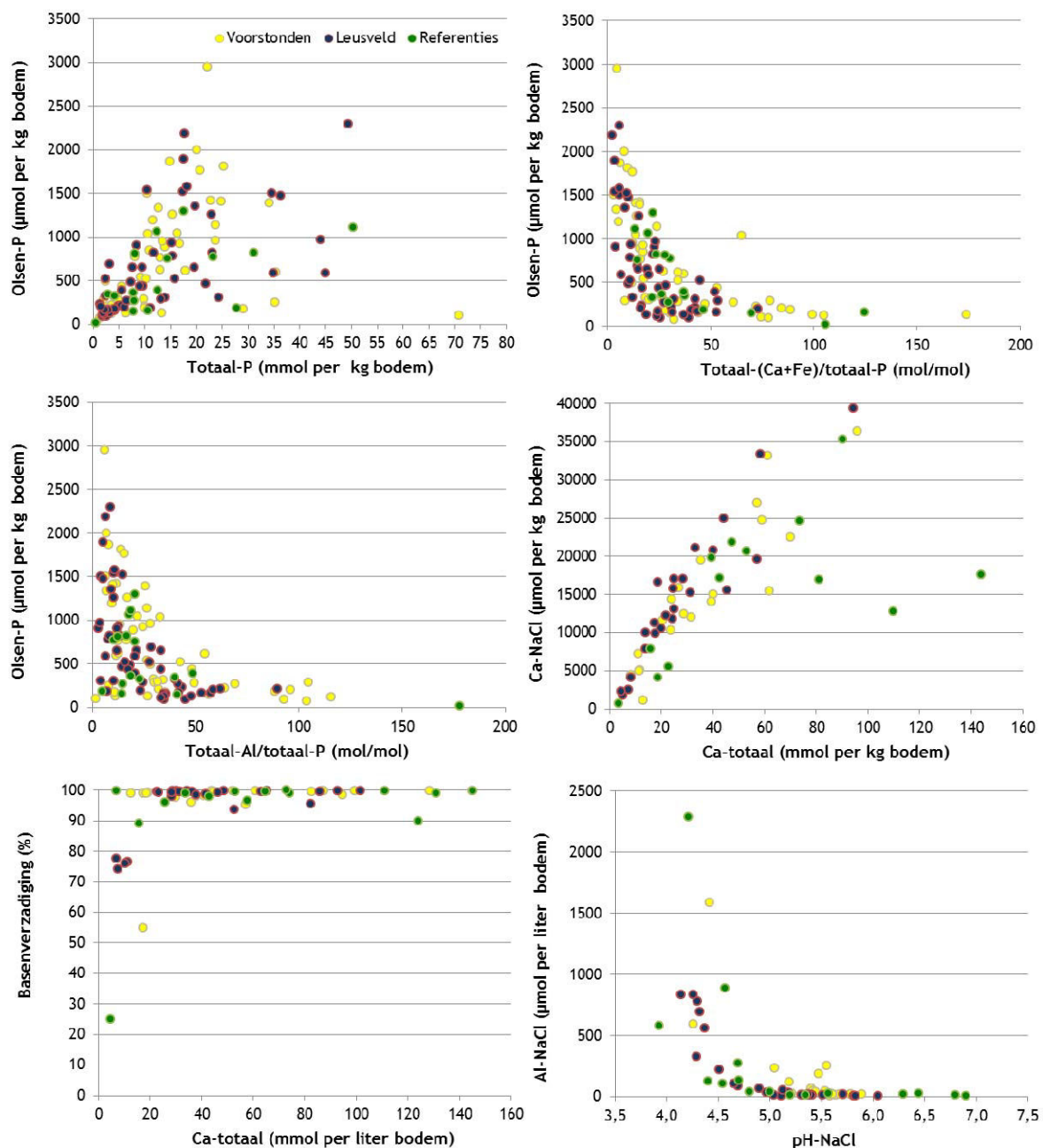
Figuur 4.1. Boxplots van de totaal-P (boven) en Olsen-P (onder) concentratie uitgedrukt per liter bodem in de toplaag van de bodem en de onderliggende bodems (de dieptes variëren sterk). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

In figuur 4.2 (linksboven) zijn de Olsen-P en totaal-P concentraties van de bodems tegen elkaar uitgezet. De spreiding is relatief groot wat duidt op een grote variatie in de beschikbare fosfaatfractie. Dit kan worden veroorzaakt door het verschil in grondgebruik (bemestingsintensiteit), bodemtype (klei/leem, zand, veen) en door het verschil in bodemchemie (sterke variatie in ijzer- en/of calciumconcentraties).

De Olsen-P concentratie wordt dan ook niet alleen bepaald door de totaal-P concentratie van de bodem. Het fosfor kan aan ijzer gebonden zijn in de bodem, maar ook aan calcium. Fosfor wordt in bodems zeer effectief geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzer- en aluminium(hydr)oxiden en door de vorming van ijzerfosfaat zouten zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (onder anaërobe condities) en FePO_4 onder aërobe condities. Voor de P-immobiliserende werking van calcium is de vorming van relatief slecht oplosbare calciumfosfaat complexen verantwoordelijk. Dit calcium gebonden-P is meestal slecht oplosbaar en komt slechts zeer langzaam vrij door verweringsprocessen. Ook klei/leem deeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder.

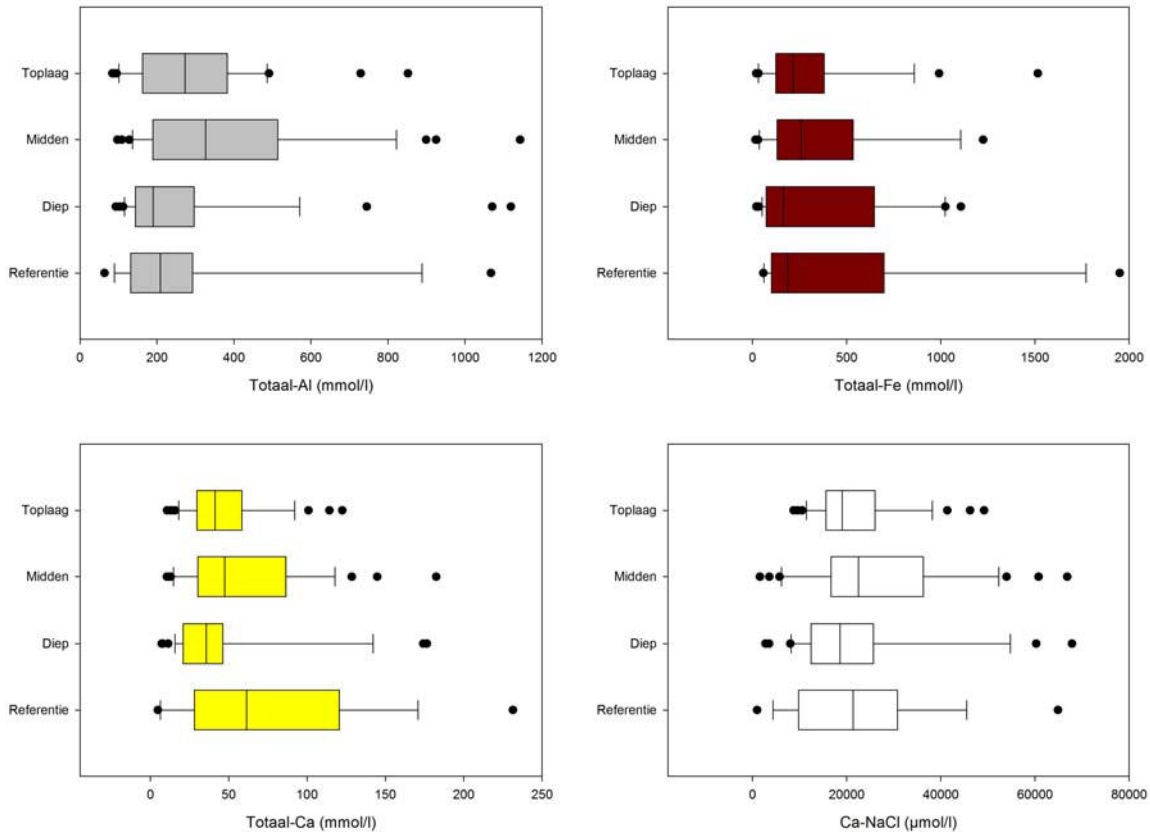
De calcium-, ijzer- en aluminiumconcentraties kunnen de beschikbaarheid van fosfaat dus beïnvloeden. In figuur 4.2 worden deze correlaties weergegeven. Op plaatsen waar de bodem rijk is aan ijzer en calcium (figuur 4.2, rechtsboven) en/of aluminium (figuur 4.2, linksmidden) ten opzichte van totaal-P, blijft de P-beschikbaarheid voor planten doorgaans laag. Dit proces wordt versterkt op locaties waar sprake is van ijzer- en calciumrijk kwelwater.

Hoge ammonium- of nitraatconcentraties ($>200 \mu\text{mol}$ per liter bodem) zijn niet gewenst maar minder problematisch voor de beoogde natuurontwikkeling. Nitraat is, in tegenstelling tot fosfaat, relatief mobiel en zal als gevolg van uitspoeling en nitrificatie- en denitrificatieprocessen op een natuurlijke manier uit het systeem verdwijnen. 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 juist positief voor de ontwikkeling van natte natuurtypen omdat dit fosfaat kan immobiliseren.



Figuur 4.2. Correlaties tussen enkele interessante bodemchemische parameters.

Uit figuur 4.3 blijkt dat de bodem direct onder de verrijkte toplaag over het algemeen lemig(er) (totaal-Al concentraties), rijk(er) aan ijzer en rijk(er) aan totaal en uitwisselbaar calcium is wat gunstig is voor natuurontwikkelingsmogelijkheden (met een zo beperkte mogelijke ingreep in het natuurlijke systeem).



Figuur 4.3. Boxplots van de totaal-Al (linksboven), totaal-Fe (rechtsboven), totaal-Ca (linksonder) en Ca-NaCl (rechtsonder; deels berekend op basis van Ca-t) in de toplaag van de bodem en de onderliggende bodems (de dieptes variëren sterk). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (verticale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De verticale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De stippen geven de uitschieters weer.

Behalve de nutriëntenbeschikbaarheid is de zuurgraad van de bodem in belangrijke mate sturend voor de vegetatieontwikkeling. De buffercapaciteit geeft de mate aan waarin een bodem in staat is te compenseren voor veranderingen in zuurconcentraties. Bij bodem-pH waarden hoger dan pH 6,2 hebben we te maken met (bi)carbonaatbuffering. 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. Een zoutextract geeft een beeld van de hoeveelheid uitwisselbare kationen. De aluminium- en calciumconcentraties in het zoutextract geven dan ook een indicatie van de buffercapaciteit van de bodem.

Uit figuur 4.2 (rechtsonder) blijkt dat de aluminiumconcentratie in het zoutextract toeneemt naarmate de pH lager wordt. Dit komt overeen met de theorie dat aluminiumhydroxiden in oplossing gaan bij een lage bodem pH. Als de basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) zijn vervangen door zuurionen of aluminium (H^+ en Al^{3+}), neemt de concentratie zuurionen in het bodemvocht toe en daalt de pH. De calciumconcentraties in het zoutextract correleren met de totaal-calcium concentraties (figuur 4.2, rechtsmidden). De totaal-calciumconcentratie is dan ook, net als de concentratie zoutextraheerbaar calcium (Ca-zout), een indicatieve parameter voor het

vaststellen van de mate van buffering van een bodem. Deze parameters zijn in grote mate bepalend voor de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen.

Een zoutextractie is echter niet voor alle bodems uitgevoerd. Met behulp van de correlatie tussen de totaal-calciumconcentratie en de concentratie zoutextraheerbaar calcium (Ca-zout), zijn concentraties uitwisselbaar calcium berekend (let op: dit is zeer indicatief) in de bodems uit de voormalige landbouwgronden waarvoor geen zoutextractie is uitgevoerd om de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen beter te kunnen duiden.

Bij grondwatergevoede systemen speelt daarnaast de grondwaterinvloed (aanlevering bufferstoffen) en de grondwaterkwaliteit (o.a. de mate van buffering) een belangrijke rol. De buffering van de bodem daalt over het algemeen sterk bij totaal-calciumconcentraties lager dan 20 mmol/l verse bodem (figuur 4.2, linksonder). Een andere indicator voor de buffercapaciteit van de bodem is de Al/Ca-ratio van het zoutextract. Verzuuring van de bodem leidt namelijk tot een stijging van de aluminiumconcentratie en de Al/Ca-ratio in het bodemvocht/zoutextract. Een lage Al/Ca-ratio ($< 0,1$) komt over het algemeen overeen met een basenverzadiging van meer dan 90%.

In paragraaf 4.3 wordt per locatie toegelicht in hoeverre het afgraven van de fosfaatrijke toplaag consequenties heeft voor de mate van buffering en de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Daarnaast wordt de verschralingsduur van de fosfaatrijke toplaag vermeld.

4.2. Referentielocaties

De referentielocaties zijn als volgt (algemeen) te typeren:

Code	Omschrijving
REFERENTIELOCATIES 2015	
R1	Hooiland, zone met gewone dotterbloem
R2	Elzenbroekbos
R3	Zone gedomineerd door bosbies
R4	Hooiland (nog niet optimaal ontwikkeld)
R5	Blauwgrasland
R6	Heischraal grasland
R7	Verdroogd alluviaal bos
R8	Sterk ontwaterd (rasbatten) alluviaal bos
R9	Elzen-/essenbos met o.a. zwarte rapunzel
R10	Geplagde zone (30 cm), nu elzenbroekbos, echter erg droog en veel pitrusontwikkeling
REFERENTIELOCATIES 2010	
R_H9	Zone met geelgroene zegge
R_H10	Zone met pitrus, rode klaver, echte koekoeksbloem, rolklaver, enkele gevlekte orchissen
R_V8	Bloemrijk grasland met o.a. margriet, streepzaad, veel rode klaver
R_L5	Vochtig schraalgrasland met oa (geklepte?) orchis, tormentil, veldrus, kale jonker, boterbloem, klaver
R_L6	vochtig schraalgrasland met oa (geklepte?) orchis, tormentil, veldrus, kale jonker, boterbloem, klaver

De resultaten van de referentiemetingen worden gegeven in tabel 4.1. Zie paragraaf 4.3 voor een toelichting van de arcering.

Tabel 4.1. Overzicht bodemchemie op de referentieslocaties waarbij OS = percentage organische stof (gloeiverlies); V = vochtpercentage; MV = massa/volumeverhouding van de bodem in kg/l; Ols-P = plantenbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in μmol per liter bodem; -t = totaalconcentratie in mmol per liter bodem, -z = concentratie ($\mu\text{mol/l}$) en pH in een zoutextractie (NaCl). BV = indicatieve basenverzadiging. M3 = indicatieve verschrallingsduur (in jaren) per bodemlaag door middel van jaarlijks maaien en afvoeren bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jaar op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 300 $\mu\text{mol/l}$ (totaal-P ondergrens 3 mmol/l). M5: idem, echter op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$. M8: idem, echter op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 800 $\mu\text{mol/l}$. De kolommen van de relevante streefconcentraties zijn gearceerd.

Nr	Diepte	Grondsoort	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO ₃	NH ₄	M3	M5	M8
R1	0-20	veen	24	59	0,5	433	16,5	0,03	278	231	160	24	10	40	66	11	31342	5,4	99	0,8	119	469	32	0	0
R2	0-20	veen	48	74	0,3	302	3,5	0,09	64	97	63	45	1	5	3	21	32620	5,6	100	1,1	1403	24	0	0	0
R3	0-20	zandig veen	7	29	1,1	1250	56,8	0,02	1067	124	646	14	56	168	55	888	14407	4,6	90	0,4	33	133	270	213	128
R4	0-15	lemig veen	7	27	1,2	945	28,3	0,03	293	58	804	30	7	26	15	272	26659	4,7	97	0,2	73	242	91	63	20
	15-35	ijzerrijk sterk lemig zand	3	16	1,3	240	37,4	0,01	187	53	1694	47	3	16	5	37	26698	4,8	99	0,2	123	45	0	0	0
R5	0-20	ijzerrijk sterk lemig zand	4	20	1,5	234	16,2	0,01	231	65	1950	125	4	34	5	35	25980	5,0	99	0,4	7	63	0	0	0
R6	0-20	zwak lemig ijzerrijk zand	2	16	1,3	442	3,8	0,12	152	5	138	38	3	12	4	2288	963	4,2	25	0,5	12	63	5	0	0
R7	0-15	zwart zand (15-30 geel zand)	7	26	1,0	807	8,1	0,10	101	16	214	28	6	16	8	580	7895	3,9	89	0,8	346	73	24	15	0
R8	0-20	venige leem	12	42	0,8	621	11,9	0,05	247	74	99	15	11	40	37	102	29018	4,5	99	0,9	1245	129	38	14	0
R9	0-20	ijzerrijke leem	3	20	1,5	221	11,8	0,02	484	111	715	70	24	88	7	25	37154	6,4	100	0,8	917	62	0	0	0
R10	0-20	grijze leem	6	26	1,3	525	16,6	0,03	812	145	475	37	26	135	14	20	64870	6,3	100	0,7	84	54	45	5	0
R_H9	0-10	sterk lemig zand, humusarm	1	13	1,5	27	0,9	0,03	160	34	57	106	6	14	2	11	8211	5,2	99	0,0	36	36	0	0	0
R_H10	0-10	zwak lemig zand, humusarm	1	13	1,4	448	5,9	0,08	136	26	103	22	7	27	2	127	5749	4,7	96	0,0	28	38	7	0	0
R_V8	0-10	sterk lemig zand, humeus	7	22	0,8	1051	14,2	0,07	292	43	272	22	14	64	8	121	16788	4,4	98	0,2	118	273	31	22	9
R_L5	0-10	zwak lemig zand, humeus	4	18	0,9	242	7,2	0,03	106	131	83	30	5	53	7	8	15999	6,8	99	1,2	68	173	0	0	0
R_L6	0-10	zwak lemig zand, humeus	7	25	0,9	323	7,0	0,05	130	73	113	27	4	41	7	5	15204	6,9	100	1,6	184	79	3	0	0

In dit onderzoek wordt standaard gerekend met een Olsen-P streefconcentratie van (<)300-500 μmol per liter bodem voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld droge heide, natte heide, heischraal grasland en blauwgrasland. Onder zeer ijzer- en/of calciumrijke omstandigheden kan een hogere Olsen-P streefconcentratie van 500 of 800 μmol per liter bodem acceptabel zijn voor de ontwikkeling van een blauwgrasland, veldrusschraalland of dotterbloemhooiland.

Referentielocaties uit 2015:

R1. Op de locatie waar gewone dotterbloem groeit is de venige bodem calcium- (Ca-t 231 mmol/l en Ca-z ± 31.000 $\mu\text{mol/l}$) en ijzerrijk (160 mmol/l). De Olsen-P concentratie (433 $\mu\text{mol/l}$) is optimaal voor de ontwikkeling van een soortenrijk vochtig hooiland. Wanneer het aantal doelsoorten in de rest van het hooiland beperkt is, is het lokaal plaggen van de bodem (dichte zode verwijderen) in combinatie met de herintroductie van doelsoorten (maaisel opbrengen van voorjaars- en zomerbloeiërs) een optie. Voorwaarde is wel dat waterafvoer mogelijk is.

R2. In het Elzenbroekbos is de veenbodem ijzerhoudend (63 mmol/l) en calciumrijk (Ca-t 97 mmol/l en Ca-z ± 33.000 $\mu\text{mol/l}$) en voldoende P-arm (Olsen-P 302 $\mu\text{mol/l}$). De nitraatconcentratie is relatief hoog (1403 $\mu\text{mol/l}$). Het inbrengen van gewone dotterbloem zaden uit het aangrenzende vochtige hooiland is een mogelijke maatregel om de soortenrijkdom van de ondergroei te vergroten.

R3. De bodem op de locatie met bosbies is calciumrijk (Ca-t 124 mmol/l en Ca-z ± 14.500 $\mu\text{mol/l}$) en zeer ijzerrijk (646 mmol/l). De matig voedselrijke omstandigheden (Olsen-P 1250 $\mu\text{mol/l}$) zijn geschikt voor de ontwikkeling van bosbies. In verband met de hoge totaal-P voorraad in de bodem (57 mmol/l) is droogval van de toplaag in de zomermaanden essentieel om P-mobilisatie te voorkomen.

R4. Op deze locatie wordt een verschrallingsbeheer gevoerd ten behoeve van de ontwikkeling van een soortenrijk vochtig hooiland. De bodem is calciumrijk (Ca-t 58 mmol/l en Ca-z ± 27.000 $\mu\text{mol/l}$) en zeer ijzerrijk (804 mmol/l). De Olsen-P concentratie bedraagt 945 $\mu\text{mol/l}$. Verschralling tot een Olsen-P concentratie van 500-800 $\mu\text{mol/l}$ duurt circa 20-60 jaar. Na het

bereiken van de gewenste verschraling is waarschijnlijk het plaggen van de bodem (dichte zode verwijderen) nodig in combinatie met de herintroductie van doelsoorten (maaisel opbrengen van voorjaars- en zomerbloeiërs). Op 15 cm diepte is extreem ijzerrijk (1694 mmol/l) lemig zand met een lage voor planten beschikbare P-concentratie (Olsen-P 240 $\mu\text{mol/l}$) aangetroffen waardoor het afgraven van 15 cm, in plaats van het voortzetten van het huidige verschrallingsbeheer, een interessante optie is.

R5. De bodem is optimaal voor blauwgraslandontwikkeling. Deze is calciumrijk (Ca-t 65 mmol/l en Ca-z $\pm 26.000 \mu\text{mol/l}$), extreem ijzerrijk (1950 mmol/l) en de voor planten beschikbare P-concentratie is laag (Olsen-P 234 $\mu\text{mol/l}$).

R6. In het heischraal grasland is de bodem relatief P-arm (Olsen-P 442 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 3,8 mmol/l) dermate arm aan calcium (Ca-t 5 mmol/l en Ca-z 963 $\mu\text{mol/l}$) dat de ontwikkeling richting heide meer voor de hand ligt. Ook de Al/Ca ratio van 2,4 duidt op zure/verzuurde omstandigheden. Voor de ontwikkeling van een soortenrijk heischraalgrasland zijn zwak gebufferde omstandigheden vereist. Een eenmalige bekalking met 2000 kg Dolokal/hectare is een mogelijke maatregel (eventueel in combinatie met het lokaal verwijderen van de zode en het opbrengen van maaisel uit een goed ontwikkelde referentielocatie).

R7. De toplaag (zwart zand) van de bodem is matig P-houdend (Olsen-P 807 $\mu\text{mol/l}$, totaal-P 8,1 mmol/l, NO_3^- 346 $\mu\text{mol/l}$), zwak calciumhoudend (Ca-t 16 mmol/l en Ca-z $\pm 7900 \mu\text{mol/l}$) en rijk aan ijzer (214 mmol/l). Bij vernatting van dit verdroogde bos is droogval van de toplaag in de zomer vereist om P-mobilisatie en verzuuring te voorkomen. Op 15-30 cm bestaat de bodem uit geel zand wat waarschijnlijk voedselarmer is dan de zwarte, humeuze (7% organische stof) toplaag. Herstel van grondwaterinvloed is gewenst om verdere verzuring te voorkomen.

R8. In het rabattenbos is de venige leembodem matig P-houdend (Olsen-P 621 $\mu\text{mol/l}$, totaal-P 12 mmol/l), nitraatrijk (NO_3^- 1245 $\mu\text{mol/l}$), calciumrijk (Ca-t 74 mmol/l en Ca-z $\pm 29000 \mu\text{mol/l}$) en ijzerhoudend (99 mmol/l). Dit is in principe positief voor de ontwikkeling van een soortenrijke ondergroei onder de juiste hydrologische omstandigheden. De hoge N-concentraties kunnen met name onder droge omstandigheden, echter leiden tot de ontwikkeling van onder andere braam en brandnetel.

R9. De calciumrijke (Ca-t 111 mmol/l en Ca-z $\pm 37000 \mu\text{mol/l}$), ijzerrijke (715 mmol/l) bodem is relatief P-arm (Olsen-P 221 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 12 mmol/l) en daarmee in principe zeer geschikt voor de ontwikkeling van Zwarte rapunzel (data komen overeen met metingen op groeiplaatsen van zwarte rapunzel op lemige bodems, dataset B-WARE).

R10. De leembodem (Al-tot 812 mmol/l) is calciumrijk (Ca-t 145 mmol/l en Ca-z $\pm 65.000 \mu\text{mol/l}$), ijzerrijk (475 mmol/l) en matig P-houdend (Olsen-P 525 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 17 mmol/l). Qua bodemchemie is deze bodem geschikt voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland of Elzenbroekbos. Voor een goede ontwikkeling dient het gebied echter ook hydrologisch geoptimaliseerd te worden. Ontwikkeling van doelsoorten kan worden gestimuleerd door maaisel op te brengen (voordat de zode volledig is dichtgegroeid). Pitrus heeft zich op deze bodem kunnen ontwikkelen doordat de P beschikbaarheid nog licht verhoogd is en doordat er waarschijnlijk niet wordt gemaaid. Eenzelfde ontwikkeling zien we in het Vossenbroek ten zuiden van Apeldoorn (relatief goede bodemchemische omstandigheden, geen maaibeheer, forse pitrusontwikkeling, geen goede hydrologische omstandigheden).

Referentielocaties uit 2010 (Van Mullekom & Smolders, 2011):

R_H9 en R_H10.1 (Hiemberg): Dit betreft een reeds afgegraven terrein. Het is niet bekend hoeveel exact is afgegraven. Van oost naar west neemt de ontgrondingsdiepte toe. Dit wordt bevestigd door de analyses: het westelijke punt H9 is voedselarmer dan het dicht bij de weg gelegen punt H10. Beide monsterlocaties zijn echter voedselarm en in principe geschikt voor de ontwikkeling van schraalgrasland. Tijdens een veldbezoek op 4 augustus 2010 zijn enkele

bloeiende exemplaren Blauwe knoop waargenomen. Daarnaast komen Geelgroene zegge, Echte koekoeksbloem en orchideeën voor. Ondanks de gunstige bodemchemische omstandigheden is het aantal doelsoorten en de mate van bedekking echter beperkt. Waarschijnlijk komt dit doordat na de ontgrondingswerkzaamheden geen herintroductie van doelsoorten heeft plaatsgevonden middels het uitstrooien van maaisel. De actuele vegetatiesamenstelling is niet bekend.

R_V8 (Voorstonden): Deze locatie is te typeren als een matig voedselrijk bloemrijk grasland. De gemeten Olsen-P ($\pm 1000 \mu\text{mol/l FW}$) en totaal-P ($\pm 14 \text{ mmol/l FW}$) concentraties laten zien wat er onder deze bodemchemische (en droge tot vochtige) omstandigheden mogelijk is. Voor de ontwikkeling van natte schraallanden zijn Olsen-P concentraties van $\pm 300(-500) \mu\text{mol/l FW}$ vereist.

R_L5 en R_L6 (Leusveld): Mede door het aangrenzende rabattenbos is de grondwaterinvloed beperkt. Desondanks is de vegetatieontwikkeling (in 2010) behoorlijk succesvol te noemen. In het vochtig schraalland zijn onder andere orchideeën (gevlekte orchis?), veldrus en tormentil aangetroffen. De bodemchemische analyses wijzen uit dat er sprake is van gunstige omstandigheden voor de ontwikkeling van een schraalland: de fosfaatbeschikbaarheid is relatief laag ($242-323 \mu\text{mol Olsen-P/l FW}$) en de bodems zijn rijk aan ijzer ($83-113 \text{ mmol/l FW}$) en calcium ($73-131 \text{ mmol/l FW}$).

4.3. Natuurpotenties van de voormalige landbouwgronden

Per deelgebied (Voorstonden/Leusveld) worden per monsterlocatie (zowel laagtes/slenken als hoge koppen) in een tabel de belangrijkste abiotische factoren kort toegelicht, waarbij de Ca-z concentratie voor een deel van de bodems werd berekend op basis van de correlatie tussen Ca-totaal en Ca-z (let op: dit is slechts indicatief!). De grondsoort en de totale ijzer- en calciumconcentraties van de bodem zijn met name relevant met het oog op de potentiële natuurbeheer-/habitattypen. Bodems met een totaal-Ca concentratie van $>20 \text{ mmol/l}$ en een Ca-NaCl concentratie van meer dan $4000-5000 \mu\text{mol/l}$ zijn over het algemeen voldoende gebufferd voor (matig) gebufferde natuurtypen. Op calciumarme bodems ligt de ontwikkeling van heide (of hoogveen) voor de hand (zeer indicatief: $\text{Ca-t} < 10 \text{ mmol/l}$ en $\text{Ca-z} < 3000/4000 \mu\text{mol/l}$). Op zwak-calciumhoudende bodems ($\text{Ca-tot} > 10 \text{ mmol/l}$ en $\text{Ca-z} 3000/4000-8000 \mu\text{mol/l}$) ligt de ontwikkeling van een heischraal grasland (of kleine zeggenvegetaties) voor de hand mits er voldoende aanrijking met basen plaatsvindt via capillaire opstijging. Op de meer gebufferde bodems ($\text{Ca-z: } 8000-25000 \mu\text{mol/l}$) kan onder de juiste hydrologische omstandigheden (essentieel!) een blauwgrasland of veldrusschraalland tot ontwikkeling komen. Op sterk gebufferde bodems ($\text{Ca-z: } > 20000-50000 \mu\text{mol/l}$) kan onder vochtige tot natte omstandigheden een dotterbloemhooiland (of Elzenbroekbos) tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een kamgrasweide/glanshaverhooiland).

De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de kansrijkdom qua bodemchemie. 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 hydrologische systeem. Deze toetsing vindt plaats door Bell Hullenaar bij het opstellen van het definitieve inrichtingsplan. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. De beschikbare gegevens vormen een basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

In de tabellen zijn onder andere de fosfaatconcentraties opgenomen (Olsen-P en totaal-P). Op basis van de verhouding tussen de Olsen-P en P-totaal concentratie (beschikbare P-fractie) is een

P-totaal streefconcentratie berekend (deze varieert op basis van de P-beschikbaarheid die beïnvloed wordt door o.a. de leemigheid, ijzer- en calciumconcentraties van de bodem). Op basis van het verschil tussen de streefconcentratie en de actuele totaal-P concentratie is per bemonsterde laag een verschrallingsduur berekend bij traditioneel beheer van maaien en afvoeren (P-afvoer: 10 kg/ha/jr). Gericht uitmijnen met N en/of K bemesting (P-afvoer: 40 kg/ha/jr) gaat vier keer zo snel. Voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte dienen, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25(-30) cm bij elkaar te worden opgeteld. Wanneer wordt ingezet op verschraling van een fosfaatrijke toplaag is het belangrijk om te realiseren dat vernatting van een fosfaatrijke toplaag kan leiden tot P-mobilisatie en verzuuring in de vorm van pitrusontwikkeling.

Wanneer de vereiste inrichtingsmaatregelen te ingrijpend of niet te realiseren zijn kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past bijvoorbeeld de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland met een Olsen-P streefconcentratie van circa (1200-)1500 $\mu\text{mol/l}$. 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 labiele P-fractie voldoende laag is ($P\text{-}z < 1$). Uit lopend onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is.

Deze indicatieve arceringen in tabel 4.1-4.3 horen bij de volgende klassen:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	Maaien en afvoeren (M) in jaren	
%	mmol/l	mmol/l	$\mu\text{mol/l}$	mmol/l	0	voldoende P-arm
<5	<150	<10	<4000	<40	<10	kansrijk voor verschraling door middel van maaien en afvoeren
6-10	151-250	11-20	4001-8000	41-100	11-40	matig kansrijk voor verschraling door middel van maaien en afvoeren
11-25	251-400	21-30	8001-15000	101-250	41-80	kansrijk voor verschraling door middel van uitmijnen
26-50	401-750	31-50	15001-25000	251-500	81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschraling door middel van uitmijnen
>50	>750	51-100	25001-40000	501-1000	201-400	ongeschikt voor verschraling I
		>100	>40000	>1000	>400	ongeschikt voor verschraling II

Tabel 4.2. Overzicht van het bodemtype en de bodemchemie per monsterlocatie (rood = hoog, blauw = laag/slenk) in deelgebied Voorstonden, waarbij OS = percentage organische stof (gloeiverlies); V = vochtpercentage; MV = massa/volumeverhouding van de bodem in kg/l; Ols-P = plantenbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in µmol per liter bodem; -t = totaalconcentratie in mmol per liter bodem. -z = concentraite in een NaCl-extractie. Ca-z grijs weergegeven = berekend op basis van correlatie met tot-Caconcentratie. M3 = indicatieve verschralingsduur (in jaren) per bodemlaag door middel van jaarlijks maaien en afvoeren bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jaar op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 300 µmol/l (totaal-P ondergrens 3 mmol/l). M5: idem, echter op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 500 µmol/l. M8: idem op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 800 µmol/l. De kolommen van de relevante streefconcentraties zijn gearceerd.

Nr	Diepte	Grondsoort	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO3	NH4	M3	M5	M8
1	0-15	leem, zwak zandig	8	26	1,1	953	15,0	0,06	299	51	189	16	9	28	13		23452						48	33	11
	15-25	zwak leemig zand, grof	1	12	1,5	471	6,6	0,07	225	36	141	27	12	28	4	64	21549	5,4	96	0,3	437	182	7	0	0
	25-35	zwak leemig zand, grof	1	10	1,7	364	3,7	0,10	120	19	95	31	11	21	1		11728						2	0	0
2	0-15	leem, zwak zandig	6	26	1,2	2324	23,4	0,10	159	37	158	8	6	18	13		18265						96	86	72
	15-25	leemig zand, ijzerrijk	2	16	1,5	1125	11,7	0,10	196	30	159	16	5	18	5	114	16907	5,2	98	2,4	205	349	27	20	11
	25-35	leemig zand, ijzerrijk	1	13	1,6	193	5,6	0,03	186	44	164	37	8	42	1		20815						0	0	0
3	0-20	klei, zwak zandig	7	20	1,4	1530	32,1	0,05	852	114	660	24	49	206	12		46214						161	135	96
	20-35	klei, zwak zandig	6	19	1,3	1282	31,8	0,04	899	129	628	24	55	211	10	11	48810	5,6	100	1,2	577	44	114	91	56
	35-45	leem, zwak zandig	4	17	1,5	410	10,8	0,04	745	86	575	61	31	114	5	15	40826	5,8	100	1,2	283	57	9	0	0
4	0-30	leem, zandig	4	17	1,3	2378	33,1	0,07	456	59	273	10	28	103	8		26390						271	245	206
	30-40	leem, zandig ijzerrijk	3	14	1,5	1579	24,7	0,06	536	61	282	14	32	111	6	23	22834	5,6	100	2,9	136	53	62	53	38
	40-50	leem, zandig ijzerrijk	4	15	1,4	765	13,0	0,06	344	38	195	18	13	61	5		18611						25	14	0
	50-60	zand, ijzerrijk	1	10	1,5	468	7,1	0,07	211	20	114	19	8	28	3		12051						8	0	0
5	0-25	zand, leemig ijzerrijk	7	24	1,2	708	42,5	0,02	491	60	1515	37	5	22	13		26753						191	97	0
	25-35	leem, ijzerrijk	4	20	1,5	183	19,6	0,01	529	87	3330	174	8	42	6	11	36685	5,7	100	0,4	349	79	0	0	0
	35-45	leemig zand, grof grindig	7	13	1,4	140	99,1	0,00	185	44	7345	75	2	11	4	17	16814	5,9	100	0,2	123	66	0	0	0
6	0-20	leem, sterk zandig ijzerrijk	5	23	1,2	732	15,3	0,05	195	37	381	27	4	12	8		18116						56	30	0
	20-30	leem, ijzerrijk	2	20	1,6	366	6,1	0,06	389	100	340	72	9	33	5	45	53970	5,4	100	0,3	270	160	3	0	0
	30-40	leem, sterk zandig	4	21	1,4	130	3,0	0,04	276	70	163	78	9	29	2		30314						0	0	0
7	0-35	zand, zwak leemig	3	14	1,3	1906	13,4	0,14	84	22	20	3	3	4	5		12801						113	108	85
	35-45	zand, zwak leemig	1	11	1,5	438	3,2	0,13	97	13	16	9	5	4	2	24	6756	5,6	99	1,2	41	55	1	0	0
	45-55	zand, zwak leemig	1	12	1,6	119	2,3	0,05	237	19	55	33	5	15	2	16	8194	5,8	99	0,8	27	58	0	0	0
8	0-20	leem, sterk zandig ijzerrijk	4	19	1,3	1061	13,7	0,08	165	24	217	18	4	13	5		13664						61	45	21
	20-30	leem, zwak zandig ijzerrijk	3	17	1,5	1118	19,0	0,06	234	52	258	16	5	20	6	15	28687	5,7	100	0,3	199	81	44	33	17
	30-40	zand, grof grindig ijzerrijk	1	12	1,6	241	4,8	0,05	169	48	164	44	7	23	2		22141						0	0	0
9	0-25	zand, zwak leemig, bv	2	21	1,0	1390	13,2	0,11	88	38	22	5	5	9	8		18720						79	66	44
	25-35	zand, zwak leemig, bv	2	12	1,6	756	3,9	0,20	109	17	29	12	7	8	2	34	11126	5,4	99	1,7	86	107	3	3	0
	35-50	zand, zwak leemig ijzerrijk	3	12	1,6	186	2,9	0,06	337	19	287	105	18	51	2	42	8025	5,5	99	0,3	26	67	0	0	0
10	0-30	leemig zand	4	20	1,5	1425	20,1	0,07	271	101	146	12	11	61	10		41375						149	122	83
	30-45	geroerde grond	2	15	1,5	434	6,2	0,07	198	47	79	20	7	24	5		22023						9	0	0
	45-65	geroerde grond	2	16	1,6	226	3,3	0,07	187	36	66	31	7	19	4		17767						0	0	0
11	0-15	klei/leem, zwak zandig, bv	4	17	1,3	1850	29,7	0,06	346	79	389	16	19	60	8		33476						117	102	79
	15-25	klei/leem, zandig	4	17	1,3	1882	33,1	0,06	327	83	376	14	22	63	9	7	20665	5,6	100	3,2	1403	180	87	76	59
	25-35	klei	3	17	1,7	728	9,5	0,08	459	134	374	53	10	50	5		53397						17	9	0
12	0-30	leemig zand	4	15	1,4	1795	22,0	0,08	379	41	274	14	13	50	6	187	17742	5,5	98	2,1	551	174	171	148	114
	30-40	ijzerrijk zand	1	12	1,6	435	7,7	0,06	379	38	228	35	13	44	4	248	16394	5,6	98	1,0	164	90	7	0	0
	40-50	ijzerrijk zand	1	12	1,6	211	10,1	0,02	112	19	988	99	7	15	1		11793						0	0	0
13	0-20	zandig leem	7	25	1,2	2071	24,3	0,09	382	46	255	12	15	69	13		21398						130	115	93
	20-40	leem, zwak zandig	5	21	1,4	700	14,0	0,05	600	95	390	35	23	120	10	234	30317	5,1	98	1,3	78	142	50	25	0
	40-50	zand, zwak leemig, grof	2	15	1,7	287	5,9	0,05	208	45	103	25	5	22	4	26	26341	5,2	100	0,6	106	108	0	0	0
14	0-15	klei/leem, zandig, bv	18	43	0,8	1153	28,3	0,04	729	122	332	16	40	149	28		49189						98	75	41
	15-25	klei	12	34	1,0	586	17,0	0,03	925	145	441	34	45	204	18	20	49848	5,6	100	1,2	24	53	26	8	0
	25-35	klei	9	30	1,1	312	10,7	0,03	1119	174	671	79	60	285	8		67868						1	0	0
15	0-40	zand, zwak leemig, bv	4	14	1,2	3459	26,0	0,13	161	11	118	5	14	26	8		8711						287	278	249
	40-55	zand, zwak leemig	2	10	1,3	2518	20,1	0,13	159	17	113	7	13	26	5	1586	1569	4,4	55	7,1	174	76	80	75	64
	55-75	zand, zwak leemig	2	10	1,3	1605	15,6	0,10	149	11	79	6	7	15	3		8977						79	67	49
16	0-25	leemig zand	7	23	0,9	866	15,9	0,05	390	57	222	18	22	88	10		25620						81	52	9
	25-35	klei/leem	8	26	1,2	239	11,9	0,02	1143	182	827	85	60	307	7	17	66841	5,3	100	0,3	520	40	0	0	0
	35-45	klei/leem	8	25	1,2	218	12,1	0,02	1070	176	897	89	61	304	6	14	60246	5,6	100	0,4	311	40	0	0	0

Deelgebied Voorstonden

1. De lemige, humeuze (8% organische stof) toplaag van 15 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 15 mmol/l en Olsen-P 953 $\mu\text{mol/l}$). Verschraling tot een blauwgrasland (Ca-t 51 mmol/l en indicatie Ca-z $\pm 23.500 \mu\text{mol/l}$) met een Olsen-P concentratie van 300 $\mu\text{mol/l}$ vereist circa 56 jaar maaien en afvoeren of 14 jaar uitmijnen. Wanneer 15 cm wordt afgegraven is de bodem relatief P-arm (totaal-P 7 mmol/l en Olsen-P 471 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 36 mmol/l, Ca-z $\pm 21.500 \mu\text{mol/l}$).
2. De lemige, humeuze (6% organische stof) toplaag van 15 cm is sterk verrijkt met fosfaat (totaal-P 23 mmol/l en Olsen-P 2324 $\mu\text{mol/l}$). Verschraling tot een blauwgrasland (Ca-t 37 mmol/l en indicatie Ca-z $\pm 18.000 \mu\text{mol/l}$) met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ vereist circa 120 jaar maaien en afvoeren of 30 jaar uitmijnen. Wanneer 15 cm wordt afgegraven is de bodem minder P-rijk (totaal-P 12 mmol/l en Olsen-P 1125 $\mu\text{mol/l}$) en resteert een verschrallingsduur van 20-25 jaar maaien en afvoeren of 5 jaar uitmijnen voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 30 mmol/l, Ca-z $\pm 17.000 \mu\text{mol/l}$). Vanaf 25 cm is lemige, ijzerrijke (164 mmol/l) bodem P-arm (totaal-P 6 mmol/l en Olsen-P 193 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland. (Ca-t 44 mmol/l en indicatie Ca-z $\pm 21.000 \mu\text{mol/l}$).
3. De kleiige, ijzerrijke (628-660 mmol/l) toplaag van 35 cm is sterk verrijkt met fosfaat (totaal-P 32 mmol/l en Olsen-P 1282-1530 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland. Door 20 cm af te graven wordt de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland gereduceerd van 165 jaar (huidige toplaag) naar ± 90 jaar. Op 35-45 cm diepte is de zwak zandige, ijzerrijke (575 mmol/l) leembodem P-arm (totaal-P 11 mmol/l en Olsen-P 410 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t 85 mmol/l en Ca-z 41.000 $\mu\text{mol/l}$).
4. De lemige toplaag van 30 cm is sterk verrijkt met fosfaat (totaal-P 33 mmol/l en Olsen-P 2378 $\mu\text{mol/l}$). Ook op 30-40 cm diepte is de bodem nog rijk aan fosfaat (totaal-P 25 mmol/l en Olsen-P 1579 $\mu\text{mol/l}$). Door 30 cm af te graven wordt de verschrallingsduur voor de ontwikkeling van een nat schraalland (Fe-t 282 mmol/l, Ca-t 61 mmol/l en Ca-z $\pm 23.000 \mu\text{mol/l}$) met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ gereduceerd van ± 200 jaar naar ± 65 jaar. Op 40-50 cm diepte is de zwak zandige, ijzerrijke (195 mmol/l) leembodem matig P-houdend (totaal-P 13 mmol/l en Olsen-P 765 $\mu\text{mol/l}$) en, in combinatie met een aanvullend verschrallingsbeheer van 15-25 jaar maaien en afvoeren geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 38 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 19.000 \mu\text{mol/l}$). Op 50-60 cm-mv is de ijzerrijke (114 mmol/l) zandbodem P-arm (totaal-P 7 mmol/l en Olsen-P 468 $\mu\text{mol/l}$) geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 20 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 12.000 \mu\text{mol/l}$). Wanneer deze ontgrondingsdieptes te fors zijn wordt geadviseerd om in te zetten op de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland (toplaag droog houden en maai-beheer voortzetten).
5. In de zeer ijzerrijke (1515 mmol/l) lemige toplaag van 25 cm is een hoge totaal-P concentratie gemeten (43 mmol/l). De Olsen-P concentratie bedraagt 708 mmol/l. Deze toplaag heeft de P-bemesting 'opgevangen' en geïmmobiliseerd. Op 25-35 cm-mv is zeer ijzerrijk (3330 mmol/l) leem aangetroffen met lagere P-concentraties (totaal-P 20 mmol/l en Olsen-P 183 $\mu\text{mol/l}$). Op 34-45 cm-mv neemt de lemigheid van de bodem af maar de ijzerrijkdom toe (7345 mmol/l!). Voor de ontwikkeling van dotterbloemhooiland (eventueel blauwgrasland) (Ca-t 60-87 mmol/l en Ca-z $\pm 27.000-37.000 \mu\text{mol/l}$) wordt geadviseerd 25 cm af te graven.

6. De sterk zandige, ijzerrijke (381 mmol/l), lemige toplaag is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 15 mmol/l en Olsen-P 732 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 37 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 18.000 \mu\text{mol/l}$) is tot 30 jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist. Daarna dient waarschijnlijk de dichte zode te worden verwijderd. Een andere optie is om bij de herinrichting meteen de zode te verwijderen/ondiep te plaggen (10 cm) in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. De ijzerrijke (340 mmol/l) leembodem op 20 cm is P-arm (Olsen-P 366 $\mu\text{mol/l}$ en totaal-P 6 mmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t 100 mmol/l en Ca-z $\pm 55.000 \mu\text{mol/l}$).
7. De toplaag (35 cm) van de zwak lemige zandbodem is verrijkt met fosfaat (totaal-P 13 mmol/l en Olsen-P 1906 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een heischraal grasland of blauwgrasland (Ca-t 22 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 13.000 \mu\text{mol/l}$) is circa 80 jaar maaien en afvoeren vereist (waarmee slechts een deel van de voedselrijke toplaag wordt verschralld). Op 35 cm diepte is de bodem P-arm (totaal-P 3 mmol/l en Olsen-P 438 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t 13 mmol/l en Ca-z $\pm 7000 \mu\text{mol/l}$), bij voorkeur in combinatie met een eenmalige bekalking met 2000 kg/ha Dolokal.
8. De sterk zandige, ijzerrijke (217 mmol/l), lemige toplaag van 20 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 14 mmol/l en Olsen-P 1061 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 300-500 $\mu\text{mol/l}$ is circa 60-80 jaar maaien en afvoeren vereist. Wanneer 20 cm wordt afgegraven is de bodem rijker aan ijzer (258 mmol/l) en calcium (Ca-t 52 mmol/l en Ca-z $\pm 29.000 \mu\text{mol/l}$) maar nog steeds P-rijk (totaal-P 19 mmol/l en Olsen-P 1118 $\mu\text{mol/l}$) waardoor voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of mogelijk dotterbloemhooiland circa 20-30 jaar aanvullend maaien en afvoeren is vereist. Op 30 cm is de ijzerrijke (164 mmol/l) zandbodem P-arm (totaal-P 5 mmol/l en Olsen-P 241 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 48 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 22.000 \mu\text{mol/l}$).
9. De zwak lemige, zandige toplaag van 25 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 13 mmol/l en Olsen-P 1390 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (onder invloed van gebufferd grondwater) of heischraal grasland (Ca-t 38 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 19.000 \mu\text{mol/l}$) is circa 80 jaar maaien en afvoeren vereist. Wanneer 25 cm wordt afgegraven is de bodem relatief P-arm (totaal-P 4 mmol/l en Olsen-P 756 $\mu\text{mol/l}$) en in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer (maximaal 5 jaar maaien en afvoeren) geschikt voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t 17 mmol/l en Ca-z $\pm 11.000 \mu\text{mol/l}$). Op 35-50 cm-mv is de zwak lemige ijzerrijke (287 mmol/l) bodem P-arm (totaal-P 3 mmol/l en Olsen-P 186 $\mu\text{mol/l}$) geschikt voor de ontwikkeling van een (vochtig) heischraal grasland (Ca-t 19 mmol/l en Ca-z $\pm 8000 \mu\text{mol/l}$).
10. De lemige, calcium- (Ca-t 100 mmol/l) en ijzerrijke (146 mmol/l) toplaag van 30 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 20 mmol/l en Olsen-P 1425 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland met een Olsen-P concentratie van 500-800 $\mu\text{mol/l}$ is circa 85-100 jaar maaien en afvoeren vereist. De geroerde bodem op 30-45 cm-mv is relatief P-arm (totaal-P 6,2 mmol/l en Olsen-P 434 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 47 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 22.000 \mu\text{mol/l}$) is dit toereikend. Vanaf 45 cm-mv neemt de P-concentratie verder af (totaal-P 3 mmol/l en Olsen-P 226 $\mu\text{mol/l}$).
11. De zandige/lemige toplaag van 25 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 30-33 $\mu\text{mol/l}$ en Olsen-P $\pm 1850 \mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is ± 180 jaar maaien en afvoeren vereist. Wanneer 25 cm wordt afgegraven kan op de ijzerrijke (374 mmol/l) beperkt P-houdende kleibodem

- (totaal-P 9 mmol/l en Olsen-P 728 $\mu\text{mol/l}$) een dotterbloemhooiland tot ontwikkeling komen (Ca-t 134 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 55.000 \mu\text{mol/l}$).
12. De 30 cm dikke toplaag van lemig zand is verrijkt met fosfaat (totaal-P 22 mmol/l en Olsen-P 1795 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is 120-125 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 30 cm wordt afgegraven kan op het ijzerrijke (228 mmol/l mmol/l) voedselarme zand (totaal-P 8 mmol/l en Olsen-P 435 $\mu\text{mol/l}$) een blauwgrasland tot ontwikkeling komen (Ca-t 38 mmol/l en Ca-z $\pm 16.000 \mu\text{mol/l}$). Op 40-50 cm-mv is de zandbodem minder calciumhoudend (19 mmol/l) maar zeer ijzerrijk (988 mmol/l).
 13. De toplaag (0-20 cm) van zandig leem is verrijkt met fosfaat (totaal-P 24 mmol/l en Olsen-P 1795 $\mu\text{mol/l}$). Voor blauwgraslandontwikkeling is circa 120 jaar maaïen en afvoeren vereist. Op 20-40 cm diepte zit een ijzerrijke (390 mmol/l), gebufferde (Ca-t 95 mmol/l en Ca-z $\pm 30.000 \mu\text{mol/l}$) zwak zandige leembodem die, (totaal-P 14 mmol/l en Olsen-P 700 $\mu\text{mol/l}$), geschikt is voor ontwikkeling van dotterbloemhooiland of in combinatie met beperkt aanvullend verschrallingsbeheer voor blauwgraslandontwikkeling. Op 40-50 cm is de bodem grof zandig, armer aan fosfaat (totaal-P 6 mmol/l en Olsen-P 287 $\mu\text{mol/l}$) en eveneens geschikt voor blauwgraslandontwikkeling (Ca-t 45 mmol/l, Ca-z $\pm 26.000 \mu\text{mol/l}$ en Fe-t 103 mmol/l).
 14. De toplaag van de ijzer- en calciumrijke zandige kleibodem (15 cm) is verrijkt met fosfaat (totaal-P 28 mmol/l en Olsen-P 1153 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is ± 80 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 15 cm wordt afgegraven is de ijzerrijke (441 mmol/l) bodem voldoende P-arm (totaal-P 17 mmol/l en Olsen-P 586 $\mu\text{mol/l}$) voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t 1245 mmol/l en Ca-z $\pm 50.000 \mu\text{mol/l}$).
 15. De calciumarme zandbodem (Ca-t 11 -17 mmol/l, Ca-z indicatie 1500-9000 $\mu\text{mol/l}$) is tot 40 cm sterk verrijkt (totaal-P 26 mmol/l en Olsen-P 3459 $\mu\text{mol/l}$) en tot 75 cm eveneens verrijkt (totaal-P 16-20 mmol/l en Olsen-P 1605-2518 $\mu\text{mol/l}$) met fosfaat (zelfs op 40-55 cm is de P-z concentratie nog 7,1 $\mu\text{mol/l}$) en daarmee niet geschikt voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde natuur. Geadviseerd wordt om de toplaag droog te houden en door middel van maaïen en afvoeren op de lange termijn een kruidenrijk grasland te ontwikkelen. De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de labiele P-fractie in de toplaag voldoende laag is ($P-z < 1$).
 16. De lemige/zandige toplaag van 25 cm is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 16 mmol/l en Olsen-P 866 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 57 mmol/l, Ca-z indicatie $\pm 26.000 \mu\text{mol/l}$ en Fe-t 222 mmol/l) met een Olsen-P concentratie van 300-500 $\mu\text{mol/l}$ is 50-80 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 25 cm wordt afgegraven kan op het ijzerrijke (827 mmol/l) leem/klei (totaal-P 12 mmol/l en Olsen-P 239 $\mu\text{mol/l}$) een dotterbloemhooiland of blauwgrasland tot ontwikkeling komen (Ca-t 182 mmol/l en Ca-z $\pm 67.000 \mu\text{mol/l}$).

Deelgebied Leusveld

Tabel 4.3. Overzicht van het bodemtype en de bodemchemie per monsterlocatie in deelgebied Leusveld.
Zie tabel 4.2 voor een toelichting.

Nr	Diepte	Grondsoort	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	pH-z	BV	P-z	NO3	NH4	M3	M5	M8
17	0-15	lemig zand, humeus	7	25	1,0	1030	10,6	0,10	347	33	659	65	4	19	5		16967						35	26	11
	15-25	zandig leem	4	17	1,4	357	50,9	0,01	407	57	2357	47	7	30	5	588	20304	4,3	95	0,7	268	51	26	0	0
	25-35	leem, zw ak zandig ijzerrijk	3	16	1,6	277	47,5	0,01	521	329	1022	28	17	72	70		#####						0	0	0
18	0-20	zandig leem, ijzerrijk	7	22	1,2	1048	131,7	0,01	383	53	2987	23	5	21	6	327	18025	4,3	94	2,1	206	735	588	431	195
	20-40	ijzeroer, grindig	6	16	1,2	1178	53,7	0,02	201	30	1225	23	6	19	3	5	19273	5,1	100	1,0	139	46	250	193	108
	40-50	ijzerrijk zand	1	10	1,7	798	37,2	0,02	527	42	1024	29	10	31	18		19944						72	43	0
19	0-40	lemig zand, bv	7	25	1,1	737	22,4	0,03	479	60	379	20	7	22	13		26579						166	90	0
	40-55	lemig zand	9	36	1,0	573	34,3	0,02	707	93	139	7	6	24	17	32	38656	5,2	100	1,4	330	98	77	21	0
	55-70	leem	13	42	0,9	535	41,1	0,01	266	26	805	20	4	13	8		14197						85	13	0
20	0-10	zand, zw ak lemig, humeus	13	37	0,9	2116	45,6	0,05	409	69	199	6	11	31	22		29819						122	109	89
	10-25	leem, zw ak zandig, ijzerrijk	5	20	1,5	313	7,2	0,04	642	86	220	43	7	38	9	64	48912	4,9	99	1,0	19	116	1	0	0
	25-40	lemig zand, ijzerrijk	2	17	1,5	448	35,6	0,01	147	49	1107	32	5	21	3	9	30821	5,4	100	0,0	22	40	55	0	0
21	0-40	zand, zw ak lemig, bv	4	21	1,2	592	8,9	0,07	164	27	66	10	5	16	8		14729						55	17	0
	40-60	leem, zw ak zandig	3	24	1,5	311	8,1	0,04	499	102	150	31	14	51	20	12	60754	5,4	100	0,8	114	124	2	0	0
	60-70	zand, zw ak lemig	2	19	1,5	144	4,1	0,04	141	44	61	26	10	30	9		20894						0	0	0
22	0-10	zand, zw ak lemig, humeus	9	29	0,9	1338	30,7	0,04	123	47	136	6	7	32	17		22008						74	60	39
	10-25	zand, zw ak lemig, ijzerrijk	2	13	1,3	1018	20,0	0,05	150	32	189	11	6	29	6	9	15409	5,3	100	1,7	249	56	66	48	20
	25-35	zand, ijzerrijk	2	13	1,6	243	6,6	0,04	236	34	316	53	6	31	3	6	19261	5,8	100	0,3	112	40	0	0	0
23	0-10	zand, zw ak lemig, humeus	7	27	1,0	1406	20,4	0,07	191	48	131	9	7	31	15		22350						50	41	28
	10-25	zand, zw ak lemig	2	15	1,6	708	15,8	0,04	278	65	207	17	8	45	7	14	33941	5,7	100	1,6	448	191	43	22	0
	25-40	zand, zw ak lemig, ijzerrijk	1	15	1,5	230	4,4	0,05	151	45	94	32	7	29	3		20979						0	0	0
24	0-10	zand, zw ak lemig, humeus	8	28	0,9	1391	34,2	0,04	179	41	314	10	9	26	17		19791						84	69	45
	10-25	zand, ijzerrijk	3	14	1,5	437	20,1	0,02	206	36	820	43	9	29	4	8	24805	5,4	100	1,0	381	234	30	0	0
	25-35	zand, ijzerrijk	2	15	1,5	276	16,9	0,02	124	29	663	41	8	24	2	4	25380	6,1	100	0,0	122	160	0	0	0
25	0-10	zand, zw ak lemig, humeus	7	29	1,0	2123	17,2	0,12	109	13	31	3	4	6	11		9599						44	41	34
	10-25	zand, geroerd	3	15	1,4	2134	14,5	0,15	153	12	45	4	4	7	6	779	5725	4,3	77	6,2	157	96	54	52	42
	25-35	zand, ijzerrijk	0	11	1,5	798	3,7	0,22	102	8	33	11	3	7	2	561	2769	4,4	74	3,1	35	29	2	2	0
26	0-10	lemig zand, humeus	7	29	1,2	1462	26,6	0,06	280	32	383	16	6	21	13		16435						66	55	38
	10-30	zand, zw ak lemig	4	20	1,3	1089	30,7	0,04	255	38	673	23	4	16	9	86	22719	4,7	98	1,2	338	396	139	104	51
	30-40	zand, zw ak lemig	2	15	1,5	299	9,2	0,03	214	38	631	73	7	20	3		18663						0	0	0
	40-50	ijzerrijk zand	1	13	1,6	149	2,9	0,05	132	23	93	40	8	18	1	10	16255	5,0	100	0,0	30	40	0	0	0
27	0-15	zandig leem	8	33	1,1	1620	18,5	0,09	273	39	140	10	7	25	12		19085						71	60	44
	15-40	zandig leem	4	22	1,4	627	12,9	0,05	427	63	258	25	7	34	8	54	35823	5,1	99	1,8	402	179	52	20	0
	40-50	zand	1	14	1,6	201	5,2	0,04	181	31	67	19	10	31	3	7	16703	5,5	99	0,0	82	175	0	0	0
28	0-10	zand, zw ak lemig	4	28	1,0	1976	18,3	0,11	95	25	40	4	8	15	19		13975						48	43	34
	10-20	zand	2	12	1,4	967	4,5	0,21	128	11	56	15	5	14	4	833	3553	4,3	76	2,4	75	74	5	5	2
	20-30	zand	1	10	1,5	355	2,1	0,17	93	7	29	17	4	9	2	691	3524	4,3	78	1,8	57	48	0	0	0
29	0-25	lemig zand, humeus	4	22	1,4	1296	21,3	0,06	276	31	213	11	4	20	11		16250						128	102	64
	25-35	lemig zand, grindig	2	15	1,7	445	10,8	0,04	448	42	258	28	8	29	6	107	21946	4,7	99	0,6	117	89	11	0	0
	35-45	lemig zand	1	15	1,7	303	7,1	0,04	298	39	266	43	6	23	3		19107						0	0	0
30	0-25	zand, sterk lemig, humeus	4	20	1,4	742	22,9	0,03	362	39	991	45	7	27	9		19029						106	58	0
	25-35	leem, zw ak zandig	4	25	1,4	408	18,8	0,02	465	82	928	54	7	38	7	834	28243	4,1	95	1,4	167	72	16	0	0
	35-50	lemig zand	2	17	1,8	297	5,2	0,06	295	58	168	44	11	30	5		25918						0	0	0
	50-70	zand, grof grindig	1	18	1,7	177	3,5	0,05	117	22	64	24	9	18	6		12734						0	0	0
31	0-15	zandig leem, ijzerrijk, humeus	7	27	1,2	1016	14,6	0,07	195	28	293	22	7	22	10		14949						48	35	15
	15-25	zandig leem, ijzerrijk	2	15	1,6	620	8,9	0,07	183	28	436	52	5	17	5	216	18103	4,5	98	0,4	143	79	14	5	0
	25-40	zandig leem, ijzerrijk	3	18	1,7	1081	15,8	0,07	190	33	369	25	6	18	6		16800						53	40	19
	40-50	zand, zw ak lemig	1	12	1,7	218	3,4	0,06	161	23	101	37	6	22	2	30	13137	5,0	99	0,3	64	27	0	0	0
32	0-20	zand, zw ak lemig, humeus	5	25	1,1	1793	20,7	0,09	227	44	83	6	8	22	15		20964						107	93	71
	20-30	zandig leem, grindig	2	16	1,5	953	11,2	0,09	371	46	123	15	9	32	8	15	22491	5,4	99	2,7	167	252	24	17	6
	30-40	zand, grof grindig	1	13	1,6	266	3,7	0,07	194	28	61	25	14	25	3	4	15848	5,8	99	0,4	61	269	0	0	0
33	0-40	zand, zw ak lemig, bv	4	18	1,3	1177	11,0	0,11	133	16	31	4	5	11	6		10534						100	79	44
	40-50	zand, geroerd	3	17	1,6	498	3,8	0,13	153	21	27	12	7	14	5		12362						3	0	0
	50-60	zand, geroerd	2	17	1,6	322	2,3	0,14	136	17	21	16	6	13	3		10984						0	0	0

Deelgebied Leusveld

17. De humeuze, lemige, zandige toplaag van 15 cm is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 11 mmol/l en Olsen-P 1030 $\mu\text{mol/l}$). Wanneer 15 cm wordt afgegraven kan op het extreem ijzerrijke (2357 mmol/l) zandig leem (totaal-P 51 mmol/l en Olsen-P 357 $\mu\text{mol/l}$) een dotterbloemhooiland tot ontwikkeling komen (Ca-t 57 mmol/l en Ca-z $\pm 20.000 \mu\text{mol/l}$). Op 25-35 cm-mv is de leem zeer rijk aan calcium (Ca-t 329 mmol/l).
18. Op deze extreem ijzerrijke ($\pm 1000\text{-}3000 \text{ mmol/l}$) locatie is de bodem rijk aan totaal-P (132 mmol/l; waarschijnlijk voor een groot deel afgezet met ijzer) maar de P-beschikbaarheid voor planten (Olsen-P) is matig hoog: 1000-1200 $\mu\text{mol/l}$ in de bovenste 40 cm van de bodem. Deze concentratie is niet optimaal voor de ontwikkeling van een vochtig hooiland ($\pm 300\text{-}800 \mu\text{mol/l}$), maar voor een suboptimale ontwikkeling (800-1200 $\mu\text{mol/l}$) is het acceptabel. De berekende extreem lange verschrallingsduur is op basis van de extreem lage P-beschikbaarheid en de hoge ijzerconcentraties waarschijnlijk niet reëel. Als gevolg van de zeer hoge ijzerconcentraties zijn na vernatting bepaalde soorten (holpijp, gewone dotterbloem) in het voordeel ten opzicht van soorten die deze hoge ijzerconcentraties niet kunnen verdragen (ijzertoxiciteit). Het verwijderen van 20 cm in combinatie met de herintroductie van doelsoorten is een mogelijke herstelmaatregel. Mogelijk is aanvullend verschrallingsbeheer vereist. Op basis van de extreem ijzerrijke omstandigheden is dit lastig in te schatten. Op 40 cm diepte is ijzerrijk (1024 mmol/l), matig P-houdend (totaal-P 37,2 mmol/l en Olsen-P 798 $\mu\text{mol/l}$) zand aangetroffen wat geschikt is voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Ca-t 42 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 20.000 \mu\text{mol/l}$), of mogelijk blauwgrasland.
19. De ijzerrijke (379 mmol/l) lemige toplaag van 40 cm is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 22 mmol/l en Olsen-P 737 $\mu\text{mol/l}$). De gebufferde bodem (Ca-t 60 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 27.000 \mu\text{mol/l}$) is hiermee in principe geschikt voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland of blauwgrasland (met aanvullend verschrallingsbeheer). Op 40-55 cm-mv is de P-beschikbaarheid voor planten lager (573 $\mu\text{mol/l}$). Het afgraven van 40 cm lijkt echter niet noodzakelijk. Er wordt geadviseerd om minimaal 10 cm af te graven in combinatie met herintroductie van doelsoorten. In verband met de dikte van de bouwvoor (mogelijk is er een dieptegradiënt aanwezig in de bouwvoor en neemt de Olsen-P concentratie af in de diepte) lijkt het afgraven van $\pm 20 \text{ cm}$ beter.
20. De zeer P-rijke toplaag is (totaal-P 46 mmol/l en Olsen-P 2116 $\mu\text{mol/l}$) is slechts 10 cm dik. Verschralling door middel van maaien en afvoeren duurt ± 110 jaar. Het afgraven van de P-rijke toplaag ligt meer voor de hand. Op 10-25 cm is de lemige bodem P-arm (totaal-P 7 mmol/l en Olsen-P 313 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t 86 mmol/l en Ca-z $\pm 49.000 \mu\text{mol/l}$). Op 25-40 cm is zeer ijzerrijk (1107 mmol/l) zand aangetroffen.
21. De matig calciumhoudende (Ca-t 27 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 15.000 \mu\text{mol/l}$) zandige bouwvoor van 40 cm is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 9 mmol/l en Olsen-P 592 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland is $\pm 20\text{-}35$ jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist. Op 40-60 cm-mv wordt zwak zandig, ijzer- (150 mmol/l) en calciumhoudend (Ca-t 102 mmol/l en Ca-z $\pm 61.000 \mu\text{mol/l}$) leem aangetroffen dat relatief P-arm is (totaal-P 8 mmol/l en Olsen-P 311 $\mu\text{mol/l}$). Het afgraven van 40 cm is een optie, evenals het voortzetten van het verschrallingsbeheer. In verband met de relatief lage Olsen-P concentratie van de toplaag is het afgraven van 10 cm in combinatie met herintroductie van doelsoorten eveneens een mogelijkheid (suboptimaal), al is het risico op verruiging aanwezig. In verband met de dikte van de bouwvoor (mogelijk is er een

dieptegradiënt aanwezig in de bouwvoor en neemt de Olsen-P concentratie af in de diepte) lijkt het afgraven van ± 20 cm beter.

22. Op 0-10 (totaal-P 31 mmol/l en Olsen-P 1338 $\mu\text{mol/l}$) en 10-25 cm-mv (totaal-P 20 mmol/l en Olsen-P 1018 $\mu\text{mol/l}$) is de bodem verrijkt met fosfaat. Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 32-47 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 15.500-22.000$ $\mu\text{mol/l}$) is 110-140 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven resteert 50-65 jaar maaïen en afvoeren. Geadviseerd wordt om 25 cm af te graven: op 25 cm diepte is de bodem P-arm (totaal-P 7 mmol/l en Olsen-P 243), ijzerrijk (316 mmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 34 mmol/l en Ca-z indicatie ± 19.000 $\mu\text{mol/l}$).
23. Op 0-10 (totaal-P 20 mmol/l en Olsen-P 1406 $\mu\text{mol/l}$) en 10-25 cm-mv (totaal-P 16 mmol/l en Olsen-P 708 $\mu\text{mol/l}$) is de bodem verrijkt cq beperkt verrijkt met fosfaat. Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 48-65 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 22.500-34.000$ $\mu\text{mol/l}$) is 60-90 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven resteert 20-40 jaar maaïen en afvoeren. Op 25 cm diepte is de bodem P-arm (totaal-P 4 mmol/l en Olsen-P 240 $\mu\text{mol/l}$), matig ijzerrijk (94 mmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 45 mmol/l en Ca-z indicatie ± 21.000 $\mu\text{mol/l}$).
24. De humeuze, zwak lemige, zandige toplaag van 10 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 34 mmol/l en Olsen-P 1391 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is circa 65-70 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven kan op het ijzerrijke (820 mmol/l), relatief P-arme (totaal-P 20 mmol/l en Olsen-P 437 $\mu\text{mol/l}$) zand een blauwgrasland tot ontwikkeling komen (Ca-t 36 mmol/l en Ca-z ± 25.000 $\mu\text{mol/l}$).
25. De toplaag (0-25 cm-mv) van de zwak calciumhoudende (Ca-t 12-13 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 6000-9500$ $\mu\text{mol/l}$) is verrijkt met fosfaat (totaal-P 15-17 mmol/l en Olsen-P ± 2100 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een heischraal grasland is 90-100 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven resteert een verschrallingsduur van 50-55 jaar. Op 25-35 cm-mv is de relatief P-arme (totaal-P 4 mmol/l en Olsen-P 798 $\mu\text{mol/l}$) zandbodem zwak ijzerhoudend (33 mmol/l), relatief calciumarm (Ca-t 8 mmol/l en Ca-z ± 2800 $\mu\text{mol/l}$) en, in combinatie met zeer beperkt aanvullend verschrallingsbeheer, geschikt voor de ontwikkeling van een heide.
26. Niet alleen de humeuze, ijzerrijke (314 mmol/l) toplaag van 10 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 27 mmol/l en Olsen-P 1462 $\mu\text{mol/l}$). Ook het zwak lemige, zeer ijzerrijke (673 mmol/l) zand op 10-30 cm diepte is verrijkt met fosfaat (totaal-P 31 mmol/l en Olsen-P 1089 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 500 $\mu\text{mol/l}$ is ± 135 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven is dit ± 100 jaar. Op 30 cm diepte is de ijzerrijke (631 mmol/l), zwak lemige zandbodem P-arm (totaal-P 9 mmol/l en Olsen-P 299 $\mu\text{mol/l}$) geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 38 mmol/l en Ca-z indicatie ± 18.500 $\mu\text{mol/l}$).
27. De toplaag (0-15 cm) van humeus lemig zand is verrijkt met fosfaat (totaal-P 19 mmol/l en Olsen-P 1462 $\mu\text{mol/l}$). Verschralling tot een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 300-500 $\mu\text{mol/l}$ vereist $\pm 65-90$ jaar maaïen en afvoeren. Het ijzerrijke (258 mmol/l) zandige leem op 15-40 cm-mv is met een aanvullend verschrallingsbeheer voldoende P-arm (totaal-P 13 mmol/l en Olsen-P 627 $\mu\text{mol/l}$) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland of dotterbloemhooiland (Ca-t 63 mmol/l en Ca-z ± 36.000 $\mu\text{mol/l}$). Er wordt geadviseerd om minimaal 15 cm af te graven. Mogelijk is er een dieptegradiënt aanwezig in deze bodemlaag van 25 cm en neemt de Olsen-P concentratie af in de diepte waardoor het afgraven van ± 20 cm beter ook te overwegen is.

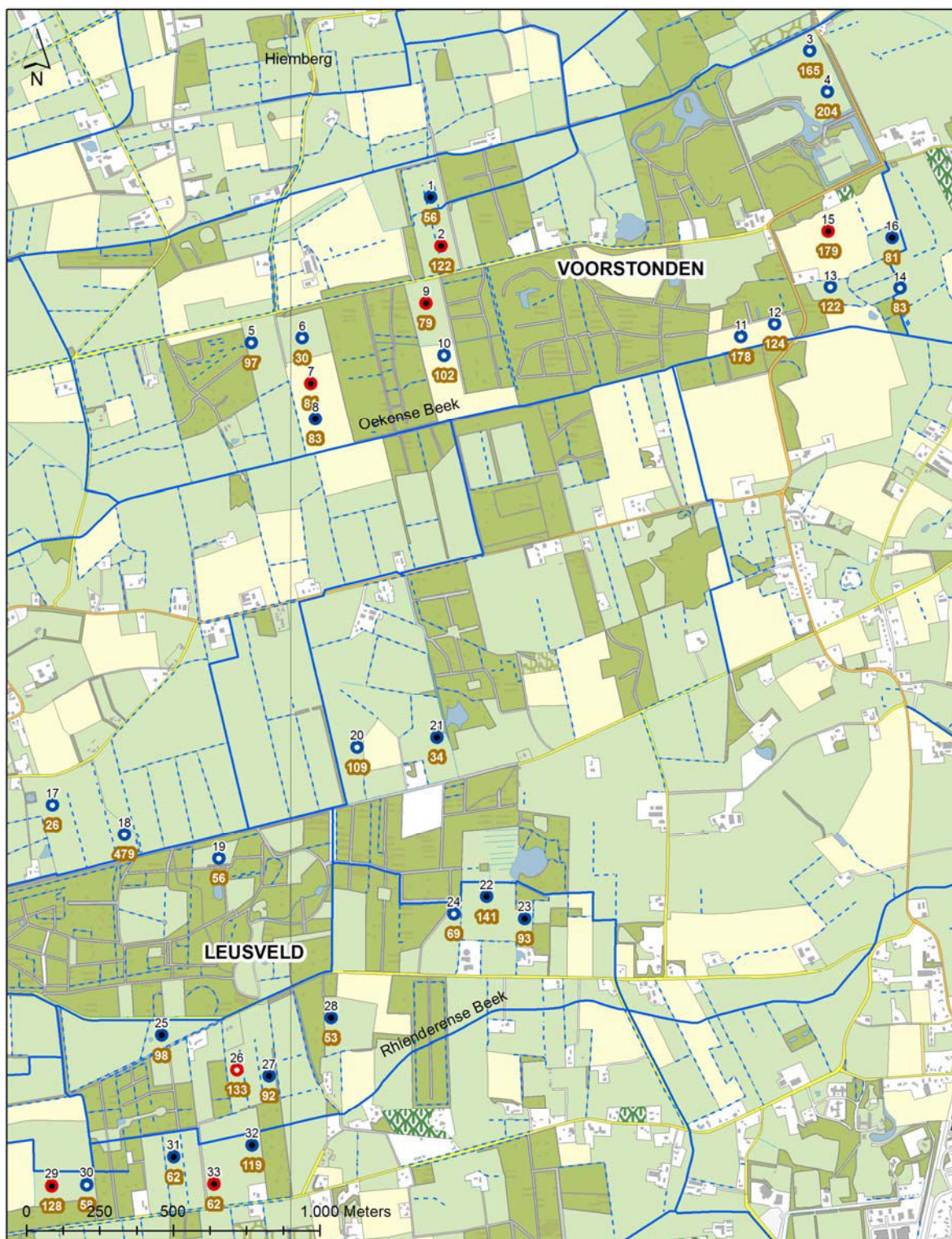
28. De zandige toplaag van 10 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 18 mmol/l en Olsen-P 1976 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een heischraal grasland/blauwgrasland (Ca-t 25 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 14.000 \mu\text{mol/l}$) is 45-55 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 10 cm wordt afgegraven komt een zeer beperkt met fosfaat verrijkte (totaal-P 4,5 mmol/l en Olsen-P 967 $\mu\text{mol/l}$), zwak ijzerhoudende (56 mmol/l) zandbodem aan het oppervlak welke in combinatie met 5 jaar aanvullend maaïen en afvoeren en een eenmalige bekalking van 2000 kg/ha Dolokal, geschikt is voor de ontwikkeling van een heischraal grasland (Ca-t 11 mmol/l en Ca-z $\pm 3500 \mu\text{mol/l}$). Op 20-30 cm-mv is de bodem P-arm (totaal-P 2 mmol/l en Olsen-P 355 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een heide (Ca-t 7 mmol/l en Ca-z $\pm 3500 \mu\text{mol/l}$).
29. De toplaag van 25 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 21 mmol/l en Olsen-P 1296 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland met een Olsen-P concentratie van 300-500 $\mu\text{mol/l}$ is circa 100-130 jaar maaïen en afvoeren vereist. Op 25-35 cm-mv is de lemige, grindige, ijzerrijke (258 mmol/l) zandbodem voldoende P-arm (totaal-P 11 mmol/l en Olsen-P 445 $\mu\text{mol/l}$) voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (onder invloed van gebufferd grondwater) of heischraal grasland (onder drogere omstandigheden) (Ca-t 42 mmol/l en Ca-z $\pm 22.000 \mu\text{mol/l}$). Op 35-45 cm-mv nemen de P-concentraties verder af (totaal-P 7 mmol/l en Olsen-P 303 $\mu\text{mol/l}$).
30. De toplaag van 25 cm is beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 23 mmol/l en Olsen-P 742 $\mu\text{mol/l}$). Op de ijzerrijke (991 mmol/l), matig gebufferde lemige zandbodem (Ca-t 39 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 19.000 \mu\text{mol/l}$) is tot ± 60 jaar aanvullend verschrallingsbeheer vereist voor de ontwikkeling van een blauwgrasland. Het afgraven van 10 cm (dichte zode) in combinatie met herintroductie van doelsoorten is een mogelijkheid (suboptimaal), al is het risico op verzuïming aanwezig. Op 25 cm diepte is de zwak zandige, ijzerrijke (928 mmol/l) leembodem beter qua P-concentraties (totaal-P 19 mmol/l en Olsen-P 408 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor blauwgraslandontwikkeling (Ca-t 82 mmol/l en Ca-z $\pm 28.000 \mu\text{mol/l}$).
31. Tot 40 cm-mv is de zandige leembodem (beperkt) verrijkt met fosfaat. Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 28-33 mmol/l en Ca-z indicatie ± 15.000 -18.000 $\mu\text{mol/l}$) met een Olsen-P concentratie van 300-500 $\mu\text{mol/l}$ is, in verband met een globale worteldiepte van 25 cm waaruit planten de nutriënten kunnen opnemen, 40-65 jaar maaïen en afvoeren vereist. Deze verschrallingsduur blijft ongeveer gelijk wanneer 15 of 25 cm wordt afgegraven. De zwak lemige, ijzerrijke (101 mmol/l) zandbodem op 40-50 cm-mv is P-arm (totaal-P 3,4 mmol/l en Olsen-P 218 $\mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een heischraal grasland/(blauwgrasland) (Ca-t 23 mmol/l en Ca-z $\pm 13.000 \mu\text{mol/l}$).
32. De zwak lemige, humeuze bouwvoor van 20 cm is verrijkt met fosfaat (totaal-P 21 mmol/l en Olsen-P 1793 $\mu\text{mol/l}$). Voor blauwgraslandontwikkeling is circa 120 jaar maaïen en afvoeren vereist. Wanneer 20 cm wordt afgegraven is de ijzerrijke (123 mmol/l), zandige, grindige leembodem beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 11 mmol/l en Olsen-P 953 $\mu\text{mol/l}$) en volstaat 15-20 jaar maaïen en afvoeren voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (Ca-t 46 mmol/l en Ca-z $\pm 22.500 \mu\text{mol/l}$). Op 30-40 cm is de grof grindige zandbodem P-arm (totaal-P 4 mmol/l en Olsen-P 266 $\mu\text{mol/l}$), minder rijk aan ijzer (61 mmol/l) en calcium (Ca-t 28 mmol/l en Ca-z $\pm 16.000 \mu\text{mol/l}$) en geschikt voor de ontwikkeling van een blauwgrasland.
33. De 40 cm dikke bouwvoor is relatief beperkt verrijkt met fosfaat (totaal-P 11 mmol/l en Olsen-P 1177 $\mu\text{mol/l}$). Voor de ontwikkeling van een blauwgrasland (onder invloed van gebufferd grondwater) of heischraal grasland (onder drogere omstandigheden) (Ca-t 16 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 10.500 \mu\text{mol/l}$) is ± 60 jaar maaïen en afvoeren vereist

(verschraling van bovenste 25 cm). Op 40-50 cm-mv is de bodem relatief P-arm (totaal-P 4 mmol/l en Olsen-P 498 $\mu\text{mol/l}$) en daarmee, mogelijk in combinatie met zeer beperkt aanvullend verschrulingsbeheer, geschikt voor de ontwikkeling van een heischraal grasland/blauwgrasland (Ca-t 21 mmol/l en Ca-z indicatie $\pm 12.500 \mu\text{mol/l}$). Op 50-60 cm-mv neemt de P-concentratie verder af (totaal-P 2,3 mmol/l en Olsen-P 322 $\mu\text{mol/l}$).

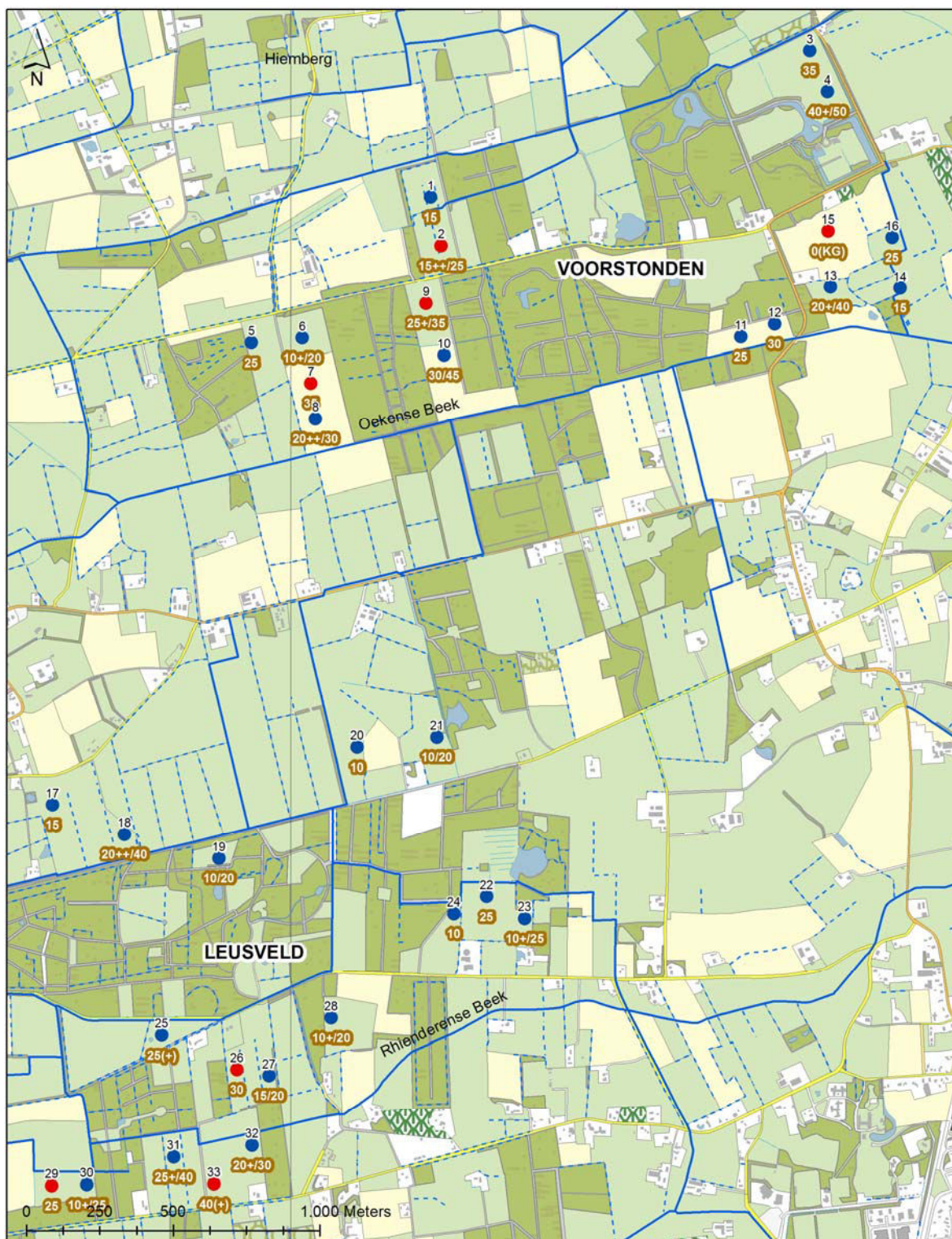
4.4. Conclusies

Voor de ontwikkeling van natuurbeheertypen als nat schraalland en/of vochtig hooiland zijn onder andere P-gelimiteerde omstandigheden vereist. Als gevolg van het landbouwkundig gebruikt is de P-beschikbaarheid voor planten (Olsen-P concentratie) en de totaal-P concentratie (lokaal fors) te hoog op de voormalige landbouwgronden in het onderzoeksgebied. Verschrulingsbeheer biedt over het algemeen weinig perspectief. De ruimtelijke variatie in de verschrulingsduur (van een bodempakket van 25 cm) wordt weergegeven in figuur 4.4 De aanwezige dichte zode vormt sowieso (na het bereiken van de vereiste verschraling) een beperking voor de ontwikkeling van doelsoorten.

Aangezien uit het onderzoek blijkt dat zowel de totaal-P concentraties als de Olsen-P concentraties over het algemeen afnemen in de diepte vormt een beperkte ontgroning een geschikte herstelmaatregel. In de slenken is sprake van een lemige, ijzerrijke, gebufferde toplaag die vanuit bodemchemisch oogpunt uitermate geschikt is voor de ontwikkeling van blauwgrasland, dotterbloemgrasland en/of alluviaal bos. Voor het creëren van een voldoende lage P-beschikbaarheid volstaat een ontgroning van slechts 10-20 (lokaal 25-35) cm. Hierbij kunnen de lemige omstandigheden veelal worden gehandhaafd waarmee de ingreep in het natuurlijke systeem (natuurlijke bodemopbouw) tot een minimum wordt beperkt. Lokaal is beperkt aanvullend verschrulingsbeheer vereist in de vorm van maaien en afvoeren. Onder de sterk lemige toplaag is de (zand)bodem over het algemeen P-arm en (nog) ijzerrijk(er) maar minder lemig en minder gebufferd. Op de dekzandruggen/hoge delen is het fosfaat wel (wat) dieper in de bodem doorgedrongen: hier is de fosfaatrijke toplaag veelal 25 à 40 cm dik (en soms nog dikker). De ruimtelijke variatie in het ontgrondingsadvies wordt weergegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.4. Overzicht van de ruimtelijke variatie in de verschrallingsduur (in jaren) van de toplaag. De verschrallingsduur is berekend voor een bodempakket van 25 cm bij een Olsen-P streefconcentratie van 300 $\mu\text{mol/l}$ (zwarte stip; schraalland) en 500 $\mu\text{mol/l}$ (witte stip: schraalland/hooiland bij zeer ijzer- en/of calciumrijke omstandigheden). De rode stippen zijn de ruggen en de blauwe stippen zijn de laagtes.



Figuur 4.5. Overzicht van de ruimtelijke variatie in het ontgrondingsadvies (in centimeters) voor het creëren van P-gelimiteerde omstandigheden, waarbij (+) = zeer beperkt aanvullend verschrallingsbeheer vereist (<5 jaar); + = beperkt aanvullend verschrallingsbeheer vereist (5-10 jaar); ++ = aanvullend verschrallingsbeheer vereist (10-30 jaar) (z) = zode verwijderen voor het creëren van vestigingsplaatsen voor doelsoorten. (KG) = ontwikkeling van een kruidenrijk grasland het maximaal haalbare. De rode stippen zijn de ruggen en de blauwe stippen zijn de laagtes.

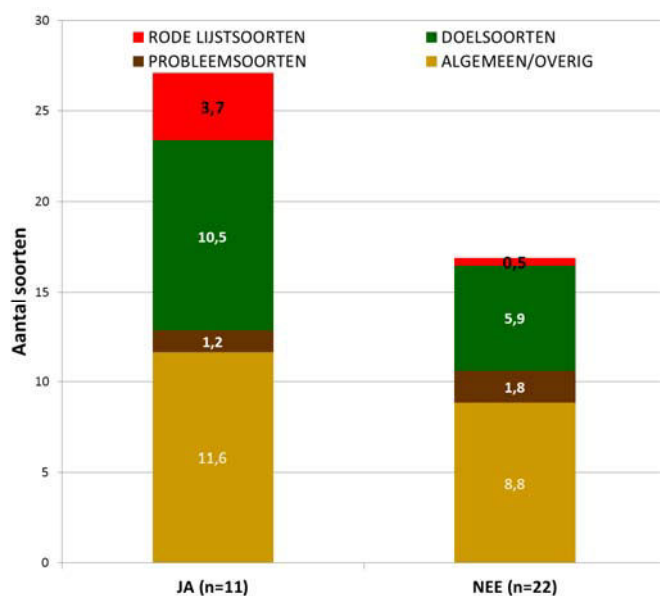
4.5. Aanvullende inrichtingsmaatregelen

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

Op de afgegraven locaties wordt geadviseerd om kort na afgraven (<1 jaar) maaisel/plagsel op te brengen uit goed ontwikkelde referentielocaties om kolonisatie door doelsoorten te stimuleren. Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank vaak niets meer over. Natte, venige laagtes kunnen een uitzondering vormen. Zonder het uitstrooien van vers maaisel of plagsel uit geschikte referentiegebieden is de kans op vestiging van doelsoorten klein. Veel zeldzame en bijzondere soorten (meestal tevens de doelsoorten) vestigen zich doorgaans niet of slechts na lange tijd op de herstelde terreinen. Het herintroduceren van doelsoorten uit zo lokaal mogelijke bronnen (in verband met de genetische diversiteit en de aanpassing aan lokale omstandigheden) leidt onder de juiste bodemchemische en hydrologische omstandigheden tot een succesvol herstel van ontgronde terreinen (figuur 4.6).

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel waarbij idealiter 1m² vers verzameld maaisel over 1(-2) m² bodem wordt verspreid. Wanneer dit niet mogelijk is, kan het maaisel in een lagere dichtheid of in kleinere over het gebied verspreide zones worden opgebracht. Wanneer vers plagsel of bodemmateriaal uit referentielocaties wordt opgebracht (enten), wordt ook bodemleven (o.a. mycorrhiza schimmels) geïntroduceerd. Mycorrhiza schimmels zijn van belang bij de opname van nutriënten onder voedselarme omstandigheden. Daarnaast beschermen ze de kiemlingen tegen verdroging. Het aanbrengen van maaisel of plagsel op een dichte zode is geen geschikte maatregel door het ontbreken van vestigingsplekken.

Het achterwege laten van deze maatregel is zonde van de vele inspanningen die zijn gedaan om de juiste abiotische randvoorwaarden (bodem en hydrologie) te creëren voor de beoogde doelsoorten.



Figuur 4.6. 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.

Jaarlijks maaien en afvoeren (gemiddelde P-afvoer 10 kg/ha/jr) is op (sterk) met fosfaat verrijkte percelen niet optimaal voor een efficiënte afvoer van fosfaat. Een alternatief is uitmijnen (gemiddelde P-afvoer 40 kg/ha/jr): een 'natuurvriendelijke' vorm van het voeren van intensieve landbouw. Wanneer de huidige zode voldoende productieve soorten bevat kan met behulp van stikstof- en kalibemesting de P-afvoer worden vergroot. Wanneer deze te weinig productieve soorten bevat wordt geadviseerd om in te zaaien met een grasklaver mengsel. In combinatie met aanvullende kalibemesting wordt de productiviteit, en daarmee ook de P-afvoer, geoptimaliseerd. Hiervoor kunnen door middel van aanvullende analyses door het Louis Bolk Instituut gerichte bemestingsadviezen worden opgesteld. De percelen dienen gedurende een lange periode voldoende droog te vallen zodat 4-5 snedes gemaaid kunnen worden. Dit maakt het nemen van vernattingsmaatregelen meestal niet mogelijk.

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.

5. Literatuur

- Bell Hullenaar (2015). Ecohydrologische systeemanalyse Voorstonden-Leusveld. Concept rapportage. Ecohydrologisch Adviesbureau Bell Hullenaar.
- Bekker, R.M., G.L. Verweij, R.E.N. Smith, R. Reine, J.P. Bakker & S. Schneider (1997). Soil seed banks in european grasslands: does land use affect regeneration perspectives? *Journal of Applied Ecology* 34: 1293-1310.
- 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., Van Diggelen, R., Bakker, J. P. and Grootjans, A. P. (2007). Wet meadow restoration in Western Europe: A quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biol. Conserv.* 140: 318-328.
- Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M.J. Weijters, R. Bobbink, H. Tomassen & A.J.P. Smolders (2013). Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* 114: 120-126.
- Mullekom, M. van & A.J.P. Smolders (2011). Natuurontwikkeling Oost-Veluwe:Hiemberg, Voorstonden, Leusveld & Soerense Broek. Onderzoekcentrum B-WARE rapport 2010.28.
- 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.
- Olsen S.R., Cole C.W., Watanabe R. & Dean L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Dpt. of Agriculture circular* 939.
- Roelofs, J.G.M., 1993. De fragiele balans tussen verzuring en verbasing in blauwgraslanden. In: E.J. Weeda (red.), *Blauwgraslanden in Twente; Schatkamers van het natuurbehoud*: 32-38. Wet. Med. nr. 209, KNNV, Utrecht.
- Smolders, A., J.G.M. Roelofs & E.C.E.T. Lucassen (2011). Goede grond voor natuur - Abiotische bodemcondities sturen vegetatieontwikkeling in natuurgebieden. *Bodem* 2: 11-13.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen & E. Brouwer (2009). Ontgronden als maatregel voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* 110: 33-38.
- Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Lucassen E.C.H.E.T., Van der Velde G. & Roelofs J.G.M. (2006a). Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006b). De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11.

Bijlage 1. Coördinaten monsterlocaties

Nr	X	Y		Nr	X	Y
1	205479	460056		26	204818	457072
2	205515	459892		27	204927	457051
3	206774	460558		28	205140	457248
4	206834	460419		29	204185	456676
5	204867	459559		30	204305	456680
6	205040	459575		31	204602	456774
7	205070	459420		32	204870	456814
8	205085	459298		33	204740	456682
9	205464	459694		Referenties 2015		
10	205525	459516		R1	205760	457839
11	206538	459579		R2	205794	457876
12	206654	459623		R3	205715	457750
13	206845	459750		R4	205722	457800
14	207082	459746		R5	205133	457618
15	206837	459942		R6	204385	456856
16	207056	459920		R7	204389	456701
17	204188	457978		R8	206633	459752
18	204433	457877		R9	206972	460095
19	204756	457794		R10	206391	460498
20	205228	458174		Referenties 2010		
21	205501	458208		R_H9	205007	460574
22	205671	457663		R_H10	205040	460580
23	205801	457589		R_V8	206648	460532
24	205558	457605		R_L5	204260	457496
25	204561	457189		R_L6	204253	457456

