

Herstelplan Hoge Broek

Fosfaatonderzoek



Oprichtgever: Eelerwoude BV • Projectnummer: 17.086
Rapportnummer: RP-17.086.17.54 • Auteurs: EBV, MM & FS • Datum: 13-7-2017

Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs en de opdrachtgever. Het is voor de opdrachtgever wel toegestaan de inhoud van deze rapportage met bronvermelding, te gebruiken voor andere publicaties.

Titel rapport: Herstelplan Hoge Broek - Fosfaatonderzoek

Auteurs:

Evi Bohnen-Verbaarschot, Mark van Mullekom & Fons Smolders

Opdrachtgever:

Eelerwoude BV

Contactpersoon:

Niek Nieuwenhuis

Rapportnummer: RP-17.086.17.54

Contactgegevens:

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

Contactpersoon:

Evi Verbaarschot

Tel: 024-2122204

e.verbaarschot@b-ware.eu

www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2017.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	7
2. Achtergrond natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden	9
3. Resultaten en natuurontwikkelingsmogelijkheden	13
3.1 Algemene bodemchemie	13
3.2 Advies per locatie	13
3.3 Aanvullende inrichtingsmaatregelen	15
4. Literatuur	17
5. Bijlagen	19

1. Inleiding

Onderzoekcentrum B-WARE heeft in opdracht van Eelerwoude BV bodemonderzoek uitgevoerd in een voormalig landbouwperceel in het projectgebied Hoge Broek nabij Raalte (figuur 1.1). Door Eelerwoude BV zijn op 2 locaties bodemonsters verzameld op 0-25, 25-35 en 35-45 en 45-55 cm diepte.

Onderzoekcentrum B-WARE heeft in 2015 ook onderzoek uitgevoerd in dit perceel (B-WARE rapport 2015.63).

Met behulp van het onderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

- Wat zijn de P-concentraties in de toplaag?
- Tot op welke diepte is de bodem verrijkt met fosfor, wat is de geadviseerde ontgrondingsdiepte voor de ontwikkeling van P-gelimiteerde soortenrijke natuur?
- Welke natuurpotenties zijn er op basis van de bodemchemie?
- Welke aanvullende inrichtingsmaatregelen worden aanbevolen?



Figuur 1.1. Overzicht van de ligging van de monsterlocaties in het onderzoeksgebied.

Naast de bodemchemie en het bodemtype zijn ook de waterkwaliteit en de (variatie in) waterstanden van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Deze (geo)hydrologische aspecten maken geen onderdeel uit van dit onderzoek. De resultaten uit dit onderzoek kunnen sterk bepalend zijn voor de keuzes die bij de gebiedsinrichting gemaakt worden. De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de 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, zeker wanneer het onderzoeksgebied grenst aan een bestaand natuurterrein. De hoogteligging en bodemopbouw spelen

hierbij een belangrijke rol. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van dit bodemonderzoek. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. Wel vormen de resultaten van dit bodemchemische onderzoek een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

2. Achtergrond natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden

De bodem is geen statische entiteit. Bodembiota hebben een belangrijke invloed op de bodemstructuur, humusopbouw, vorming van bodemhorizonten en nutriëntenbeschikbaarheid (Smolders e.a., 2011). 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 (Smolders e.a., 2011).

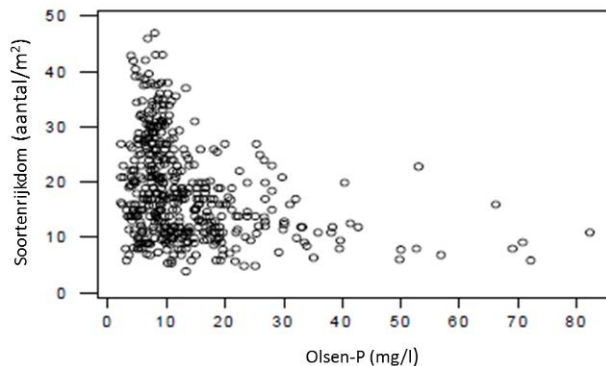
Als gevolg van het zeer intensieve gebruik van het agrarisch gebied in Nederland levert de omvorming van voormalige landbouwgronden tot voedselarme (natte) natuurgebieden vaak problemen op (onder andere Klooker e.a., 1999; Verhagen e.a., 2001; Loeb en Weijters, 2013 en van Mullekom e.a., 2013). Wanneer bijvoorbeeld gestreefd wordt naar de ontwikkeling van natuurbeheertypen als nat schraalland (N10-01) of vochtig hooiland (N10-02) is een (matig) voedselarm milieu vereist. Als er in de bodem een overmaat is aan alle voedingsstoffen gaan enkele snelgroeiende soorten (Gestreepte witbol, Gewoon struisgras, Akkerdistel, Witte klaver of Engels raaigras) overheersen en ontstaat een soortenarme vegetatie (Smolders e.a. 2009).

De kansen op een goede natuurontwikkeling en herstel op voormalige landbouwgronden wordt in eerste instantie sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (P) (Lamers e.a., 2005; Gilbert e.a., 2009). Stikstoflimitatie is moeilijk te bereiken vanwege de nog steeds hoge stikstofdepositie en ook omdat onder relatief stikstofarme omstandigheden stikstofbindende soorten zich sterk uitbreiden. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie (Lamers e.a., 2005; Lucassen & Roelofs, 2005; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009).

In tegenstelling tot stikstof neemt de fosforbeschikbaarheid niet door uitspoeling sterk af (Marrs e.a., 1991). Fosfaat hoopt zich op in de bovenlaag, doordat het onder droge omstandigheden zeer goed aan de bodemdeeltjes gebonden blijft (Smolders e.a., 2006). 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 (Smolders e.a., 2009). Deze concentraties worden over het algemeen gemeten in soortenrijke vegetatietypen van voedselarme gronden (Figuur 2.1: Chambers e.a., 1999; Gilbert e.a., 2000; Smolders e.a., 2009, 2011; Database B-WARE). De Olsen-P concentraties in de toplaag van landbouwgronden liggen meestal echter ver boven de vereiste niveaus (Smolders e.a., 2009, 2011). 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, kalkrijke gronden en kleibodems zijn van nature vaak relatief rijk aan totaal-P. Dergelijke bodems binden namelijk zeer goed fosfaat (Sival e.a., 2002; Smolders e.a., 2009). 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

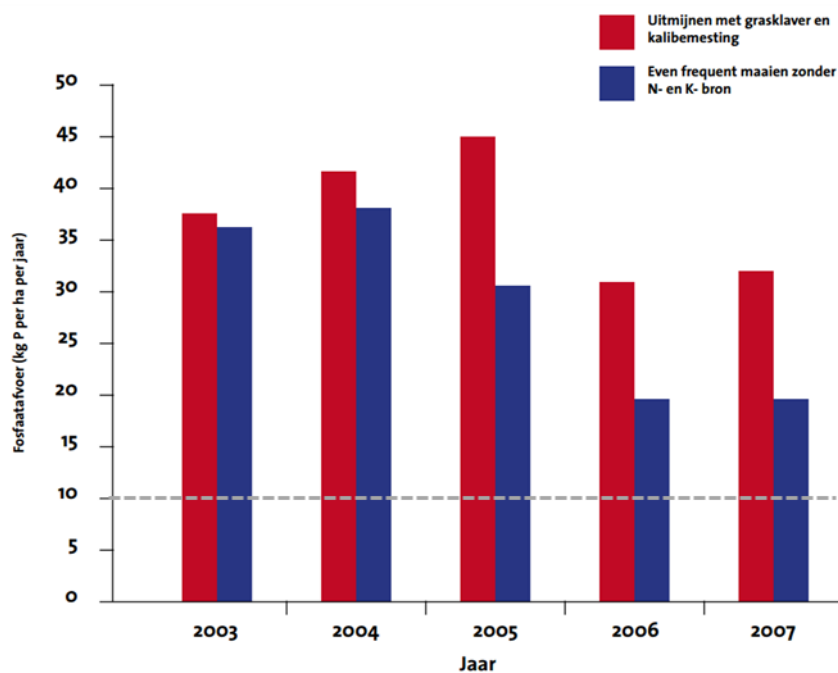
grenswaarde worden gehanteerd van $\pm 500-900$ micromol per liter verse bodem (Smolders e.a., 2009). Concentraties tussen 900 en 1200 $\mu\text{mol/l}$ FW bieden op termijn mogelijkheden voor het creëren van voedselarme natuur, mits aanvullende maatregelen (maaien en afvoeren) worden toegepast.



Figuur 2.1. Soortenrijkdom in relatie tot de Olsen-P concentratie in de bodem (Bron: Chambers e.a., 1999).

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 $800-1200$ $\mu\text{mol/l}$ verse bodem. 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 ($P\text{-}z < 1$ $\mu\text{mol/l}$ bodem; lopend onderzoek Brouwer, E). Uit onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is (± 1000 $\mu\text{mol/l}$; Verbaarschot e.a., 2014).

Het afvoeren van de overmaat aan nutriënten via het gewas gaat langzaam, omdat slechts een klein deel van de droge stof uit N, P of K bestaat (Smolders e.a., 2009). Verschraling van voormalige landbouwgronden door middel van maaien en afvoeren (P-afvoer 10 kg/ha/jaar ; Chardon e.a., 2008) duurt veelal tientallen tot honderden jaren (Lamers e.a., 2005). 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 mogelijk nadeel van verschralingsbeheer is dat doorgaans slechts de bovenste $25(-30)$ cm van de bodem wordt verschaald 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 (Sival & Chardon, 2004; Timmermans & van Eekeren, 2012). Uitmijnen is een 'natuurvriendelijke' vorm van het voeren van intensieve landbouw met een productieve zode (inclusief stikstof en/of kalibemesting) of met een grasklavermengsel (inclusief kalibemesting) opdat de P-afvoer worden vergroot. Door middel van het zaaien van grasklaver in combinatie met kalibemesting en een maai-beheer kan fosfaat versneld (40 kg P/ha/jr : $4\times$ sneller als met maaien en afvoeren) aan de bodem worden onttrokken (Figuur 2.2). Klaver houdt met haar stikstofbinding de productie gaande en kalibemesting wordt gebruikt om klaver optimaal te laten groeien (Timmermans & van Eekeren, 2016). Ook met deze beheersmaatregel duurt het op voormalige landbouwgronden vaak tientallen jaren voordat het gewenste verschralingsniveau is bereikt (van Mullekom e.a., 2013). Het uitmijnen kan versneld worden door het verwijderen van de extreem voedselrijke toplaag (van Eekeren e.a., 2007).



Figuur 2.2. Fosfaatafvoer (in kg fosfor per ha per jaar) door uitmijnen met grasklaver (klaver voor het vastleggen van stikstof) en kalibemesting en met grasklaver zonder kalibemesting (start eind 2002). De fosfaatafvoer werd bereikt door het maken van vier tot vijf maaisneden per jaar. Na enkele jaren daalt de afvoer van fosfaat in het deel zonder aanvullende kalibemesting. Stikstof- en kalibronnen zijn nodig voor een hoge fosfaatafvoer. Op de lange termijn is de gemiddelde afvoer bij uitmijnen ongeveer 40 kg fosfor per ha per jaar. Dit komt overeen met circa 90 kg fosforpentoxide (P_2O_5) per ha per jaar. Met jaarlijks eenmalig maaien en afvoeren kan een fosfaatafvoer van ca. 10 kg P per ha per jaar worden bereikt (grijze stippellijn). Bron: Timmermans & van Eekeren (2012; 2016).

Inzet van grazers in weiden en halfopen landschappen voorkomt het dichtgroeien waardoor variatie in het gebied ontstaat. De netto afvoer van nutriënten door middel van begrazen is echter beperkt. Bij extensieve begrazing worden nutriënten opgenomen door grazers, via mest en urine komen ze dan elders weer vrij. Probleem hiervan is echter dat dit vooral leidt tot herverdeling van nutriënten binnen het gebied en veel minder tot de afvoer van nutriënten. Daarnaast worden bepaalde soorten als Pitrus (*Juncus effusus*) niet of weinig gegeten en door betreding ontstaan bovendien open plekken in de vegetatie waar Pitrus weer kan kiemen en de dominantie hiervan juist toeneemt (Kemmers e.a., 2004; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009). Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag 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, de diepte van het fosfaatfront komt namelijk niet altijd overeen met de dikte van de bouwvoor (Smolders e.a., 2009). Fosfaat kan door uitspoeling namelijk dieper in de bodem terecht komen. Door middel van ontgroning kan een snelle vershraling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen de afstand tot het grondwater verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren (van Mullekom e.a., 2007; 2013). Bij onvolledige ontgroning (zeker in combinatie met vernatting) kan alsnog verrijking met nutriënten plaatsvinden. Deze maatregel dient te worden getoetst op de inpasbaarheid in het hydrologische systeem.

3. Resultaten en natuurontwikkelingsmogelijkheden

3.1 Algemene bodemchemie

In het onderzoeksgebied is overwegend sprake van een (zwak lemige) zandbodem. De kans op een goede natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden wordt sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (hoofdstuk 2).

De toplaag van de bodem (0-25 cm; bouwvoor) is over het algemeen rijk aan fosfaat met plantbeschikbare fosfaatconcentraties (Olsen-P) variërend van 1504 tot 2371 $\mu\text{mol/l}$ bodem en totaal-P concentraties variërend van 17,9 tot 21,7 mmol/l bodem (tabel 3.1). Direct onder de bouwvoor (25-35 cm) nemen de fosfaatconcentraties sterk af met concentraties van 399 tot 790 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en 5,2 tot 7,4 mmol/l totaal-P. Vanaf 35 cm-mv nemen de P-concentraties verder af en variëren van 115 tot 298 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P en 3,6 tot 8,2 mmol/l totaal-P.

Fosfor kan gebonden zijn aan calcium of ijzer in de bodem. Fosfor kan in bodems zeer effectief worden geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzer(hydr)oxiden en door de vorming van ijzerfosfaat zouten zoals $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (onder anaërobe condities) en FePO_4 onder aërobe condities. Ook calcium kan P-immobiliserend werken waarbij de vorming van relatief slecht oplosbare calciumfosfaat complexen belangrijk zijn. Dit calcium gebonden-P komt slechts zeer langzaam vrij door verweringsprocessen. Ook klei-/leemdeeltjes (de totaal-aluminium concentratie is indicatief voor het lutumpercentage) zijn een sterke P-binder.

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 mmol/l en een Ca-NaCl concentratie van meer dan 4000-5000 $\mu\text{mol/l}$ zijn over het algemeen voldoende gebufferd voor (zwak) gebufferde natuurtypen. Op calciumarme bodems ligt de ontwikkeling van heide (of hoogveen) voor de hand (zeer indicatief: Ca-t < 10 mmol/l en Ca-z $< 3000/4000$ $\mu\text{mol/l}$). Op matig calciumhoudende bodems (Ca-tot >10 mmol/l en Ca-z 3000/4000-8000 $\mu\text{mol/l}$) ligt de ontwikkeling van een heischraal grasland (of kleine zeggenvetatie) voor de hand mits er voldoende aanrijking met basen plaatsvindt via capillaire opstijging. Op de meer gebufferde bodems (Ca-z: 8000-25000 $\mu\text{mol/l}$) kan onder de juiste hydrologische omstandigheden (essentieel!) een blauwgrasland of veldrusschraalland tot ontwikkeling komen (onder droge omstandigheden een glanshaverhooiland).

De bodem is matig tot rijk aan ijzer (73 tot 967 mmol/l bodem) en calcium (25 tot 41 mmol/l bodem), met name locatie B2 is zeer ijzerrijk in de diepere bodemlagen met concentraties van 465-967 mmol/l bodem. De diepere bodemlagen zijn over het algemeen rijker aan calcium dan de toplaag van de bodem, mogelijk zijn de wat lagere calciumconcentraties in de toplaag het gevolg van oxidatieprocessen (van ammonium naar nitraat), waarbij zuur wordt gevormd en ontkalking kan plaatsvinden, tijdens het landbouwkundig gebruik.

3.2 Advies per locatie

Per monsterlocatie worden in tabel 3.1 de belangrijkste abiotische factoren kort toegelicht. Hierin 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 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 (P-afvoer: 40 kg/ha/jr; hoofdstuk 2) 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 cm bij elkaar te worden opgeteld. Wanneer wordt ingezet op verschralling 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.

De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de kansrijkdom qua bodemchemie, grondwaterkwaliteit en hydrologische omstandigheden (deze maken geen onderdeel uit van deze opdracht) maar onder andere ook van het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke inrichtingswensen. De beschikbare gegevens vormen in elk geval een basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

In tabel 3.1 worden de resultaten van de bodemchemische analyses weergegeven. Met verschillende kleuren is aangegeven tot welke klasse de bodems behoren. Hierbij zijn de volgende kleuren en klasseindelingen gebruikt:

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

Tabel 3.1. Bodemchemie per monsterlocatie (diepte in cm-mv). V = vochtpercentage; MV = massa/volumeverhouding van de bodem in kg/l; OS = percentage organische stof (gloeiverlies); Ols-P = plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in µmol per liter bodem; -t = totaalconcentratie in mmol per liter bodem, -z = concentraties in µmol/l bodem en pH in een zoutextractie. M3, M5, M8 = indicatieve verschrallingsduur per bemonsterde laag door middel van maaien en afvoeren (in jaren) bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jaar op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 300, 500 en 800 µmol/l.

Nr	GLG	GHG	Diepte	Grondsoort	HZT	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	MA3	MA5	MA8			
B1	75	40	0-25	zand, bv	Ap	5	11	0,9	2371	21,7	110	25	73	4	10	9													146	134	113
			25-35	zand, zw. lemig	Cg	3	14	1,0	790	7,4	163	33	136	6	15	6	39	11939	166	3532	5,2	99	3	87	21			14	9	0	
			35-45	zand, zw. lemig	Cg/Crg	1	15	1,3	298	3,6	149	31	101	9	21	2												0	0	0	
			45-55	zand, zw. lemig	Crg	1	16	1,4	292	5,2	152	35	77	13	25	2	5	13548	1491	4256	5,7	100	0,3	27	3			0	0	0	
B2	90	40	0-25	zand, bv	Ap	7	18	0,8	1504	17,9	154	31	127	5	11	9													112	94	66
			25-35	zand	E	2	11	1,1	399	5,2	159	27	126	7	13	4	21	11610	106	2883	5,2	100	0	74	23			4	0	0	
			35-45	zand	Cgr	2	14	1,2	239	6,7	181	31	465	6	18	2												0	0	0	
			45-55	zand	Cgr	2	17	1,2	115	8,2	230	41	967	8	23	2	14	14916	739	3664	5,7	100	1	15	5			0	0	0	

Locatie B1: De bodem is matig calcium- en ijzerhoudend met totaal-concentraties van 25-35 mmol/l Ca-t en 73-136 mmol/l Fe-t. De toplaag (0-25 cm) van de bodem is verrijkt met fosfaat met een concentratie van 2371 µmol/l Olsen-P en 21,7 mmol/l totaal-P. Direct onder de bouwvoor (25-35 cm) is de bodem veel minder fosfaatrijk (Olsen-P 790 µmol/l; totaal-P 7,4 mmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van glanshaverhooiland (Ca-z: 11939 µmol/l, pH-z: 5,2, BV: 99%). De diepere bodemlaag (35-45 cm) is schraler met een Olsen-P concentratie van 298 µmol/l en totaal-P concentratie van 3,6 mmol/l en geschikt voor de ontwikkeling van blauwgrasland.

Advies: 35 cm (bouwvoor + 10 cm) ontgronden voor ontwikkeling van blauwgrasland.

Locatie B2: De bodem is matig calciumhoudend en ijzerrijk met totaal-concentraties van 27-41 mmol/l Ca-t en 126-967 mmol/l Fe-t. De toplaag (0-25 cm) van de bodem is verrijkt met fosfaat met een concentratie van 1504 µmol/l Olsen-P en 17,9 mmol/l totaal-P. Direct onder de bouwvoor (25-35 cm) is de bodem veel minder fosfaatrijk (Olsen-P 399 µmol/l; totaal-P 5,2 mmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van blauwgrasland (Ca-z: 11610 µmol/l, pH-z: 5,2, BV: 100%). De diepere bodemlagen (35-55 cm) zijn nog schraler met Olsen-P concentraties van 115-239 µmol/l en totaal-P concentraties van 6,7-8,2 mmol/l. Deze bodemlaag is zeer ijzerrijk met concentraties van 465-967 mmol/l bodem.

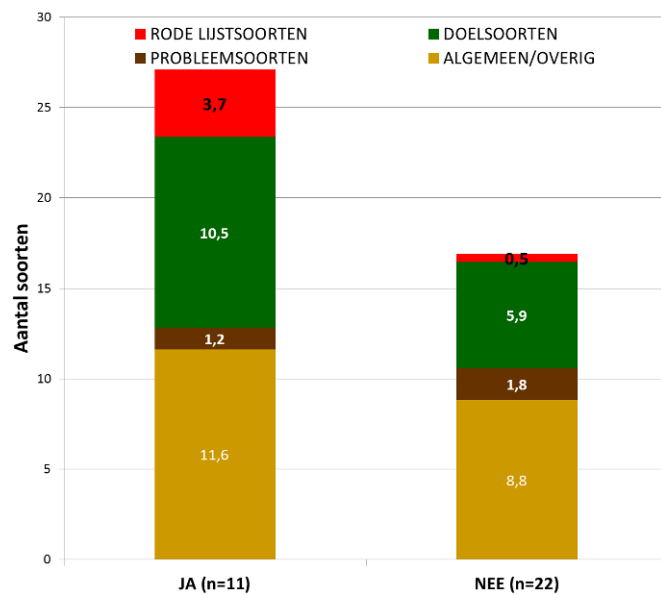
Advies: Gezien de hoge ijzerrijkdom op een diepte van 35-55 cm, wordt geadviseerd om 35 cm (bouwvoor + 20 cm) te ontgronden voor ontwikkeling van blauwgrasland. Door dieper te ontgronden is de invloed van het grondwater hoger, wat gunstig is voor de ontwikkeling van blauwgrasland.

Voor dit perceel wordt geadviseerd om 35 cm te ontgronden voor ontwikkeling van blauwgrasland.

3.3 Aanvullende inrichtingsmaatregelen

De eerste jaren na het afgraven van de voedselrijke toplaag dient maaibeheer plaats te vinden om de ontwikkeling en uitbreiding van algemene/ruigte soorten te beperken. Doordat vaak vele zaden aanwezig zijn kunnen deze algemene soorten, ook onder P-arme condities, tot ontwikkeling komen. Door middel van een maaibeheer en het aanbrengen van maaisel of plagsel kan de groei van ongewenste algemene soorten onderdrukt worden. 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 (Bekker e.a., 1996). Natte en/of 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 3.1).



Figuur 3.1. 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, 2016. Rechts: Foto's van succesvolle ontwikkeling van nat schraalland met onder ander Moeraskartelblad, Blauwe zegge, Zwarte zegge, Blauwe knoop, Vetblad, heidekartelblad, Gevlekte orchis, Welriekende nachtorchis, Brede orchis en Moeraswespenorchis door middel van het afgraven van de voedselrijke toplaag in combinatie met de herintroductie van doelsoorten. Foto's Mark van Mullekom.

Herintroductie van doelsoorten kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van maaisel of plagsel 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. Door het enten met bodem wordt ook organisch stof in de bodem gebracht, waardoor de ontwikkeling van natuurtypen kan worden versneld. 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.

Voorwaarde bij uitvoering van de ontgrondingswerkzaamheden is wel dat er geen permanent natte laagte of 'vijver' ontstaat na de plagwerkzaamheden. Afvoer van water (over maaiveld of via zeer ondiepe greppels) en droogval van de toplaag in de zomermaanden moet mogelijk zijn zodat de wortelzone van de planten wordt belucht. Hierbij worden ijzerhydroxides gevormd die (net als gereduceerd ijzer) fosfaat kunnen binden. Tevens wordt ammonium en het sulfide geoxideerd (Lucassen e.a., 2004; 2005).

4. Literatuur

- Bekker, R.M., J.H.J. Schaminée, J.P. Bakker & K. Thompson (1996) Seed bank characteristics of Dutch plant communities. *Acta Botanica Neerlandica* 47: 15-26.
- Chambers, B.J., CN.R. Critchley, J.A. Fowbert, A. Bhogal & S.C. Rosé, 1999. Soil nutriënt status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. *Report MAFF Project 8D1429*, ADAS Gleadthorpe & Newcastle, UK.
- Chardon, W.J. (2008) Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling. Een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Wageningen, Alterra, *Alterra-rapport 1683*. 25 pp.; 43 ref.
- Eekeren, N. van, Iepema, G en Smeding, F.(2007) Natuurherstel in grasland door klaver en kalibemesting. *De Levende Natuur* 108, nummer 1.
- Gilbert, J.C, 2000. High soil phosphorus availability and the restoration of species rich grassland. PhD *Thesis* Cranfield LUniv. Silsoe UK, Inst. Water S Environment.
- Gilbert, J., Gowing, D., Wallace, H (2009) Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessments methods and community tolerances. *Biological Conservation* 142: 1074-1083.
- Kemmers, R.H., B. Beltman, A.P. Grootjans, A.J.M. Jansen, G. Kooijman & P.C. Schipper (2004) Voorkomen en bestrijden van Pitrusdominantie in natte schraallanden. *Rapport Alterra*, Wageningen.
- Klooker J., van Diggelen, R., Bakker J.P (1999) Natuurontwikkeling op minerale gronden. Ontgronden: nieuwe kansen voor bedreigde plantensoorten? Rijksuniversiteit Groningen, Laboratorium voor planteneecologie, The Netherlands.
- Lamers, L.P.M., M. de Graaf, R. Bobbink & J. Roelofs (1997) Verzuring en eutrofiëring van blauwgraslanden. *De Levende Natuur* 98 (7): 246-252
- Lamers, L.P.M., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H₂O* 38 (17): 28-30.
- Lamers, L., E. Lucassen, H. Tomassen, A. Smolders & J. Roelofs (2009) Verpitruissing bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* 110 (1): 43-46.
- Loeb, R., en Weijters, M.J. (2013) Introductie van soorten via maaisel na herinrichting: ongeduld of wijsheid? *De Levende Natuur* 114: 157-159.
- Lucassen, E., A. Smolders & J. Roelofs (2000) De effecten van verhoogde sulfaatgehalten op grondwatergevoede ecosystemen. *H₂O* 25/26: 28-31.
- Lucassen E.C.H.E.T., (2004) Biochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. *Proefschrift*, Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen.
- Lucassen, E. & J. Roelofs (2005) Vernatten met beleid: lessen uit het recente verleden. *Natuurhistorisch maandblad* 94: 211-215.
- Lucassen, E. C. H. E. T., Smolders, A.J. P., Lamers, L. P. M. and Roelofs, J. G . M. (2005) Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate-eutrophication in sulphate-rich fens: Consequences for wetland restoration. *Plant and Soil* 109-115.
- Marrs, R.H., M.W. Gough & M. Griffiths (1991) Soil chemistry and leaching losses of nutrients from semigrassland and arable soils on three contrasting parent materials. *Biological Conservation* 57: 257 - 271
- Mullekom, M. van, Smolders, A., Brouwer, E. en Roelofs, J. (2007) Onderzoek naar de kansen voor natuurontwikkeling in het Wisselse Veen. *B-Ware rapport* nummer 2006.09.
- Mullekom, M. van, F. Smolders, E. Brouwer, W. Geraedts & J. Roelofs (2009) Herstel van schraalgraslanden in het Hierdense beekdal. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 6: 2-7.
- Mullekom, M. van, 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, F. Smolders & B. Timmermans (2016) Van landbouw naar natuur: Een efficiënte en effectieve aanpak. Onderzoekcentrum B-WARE en het Louis Bolk Instituut.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon (2002) Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon (2004) Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. *Rapport 1090*. Wageningen, Alterra.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* 110: 33-38.
- Smolders, A., E. Lucassen & J. Roelofs (2011) Goede grond voor natuur. Abiotische bodemcondities sturen vegetatieontwikkelingen in natuurgebieden. *Bodem* 2.
- Smolders, A., J. van Diggelen, J. Geurts, M. Poelen, J. Roelofs, E. Lucassen & L. Lamers (2013) Waterkwaliteit in het veenweidegebied. De complete interacties tussen oever, waterbodem en oppervlaktewater. *Landschap* 3.
- Timmermans & van Eekeren (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 1: 12-15.
- Timmermans & van Eekeren (2016) Phytoextraction of Soil Phosphorus by Potassium-Fertilized Grass-Clover Swards *Journal of Environmental Quality* 45: 701-708.
- Verbaarschot, E., E. Brouwer & R. Bobbink (2014) Potenties voor de verdere ontwikkeling van bloemrijke graslanden en akkers in Overijssel en Flevoland. *B-Ware rapport* nummer 2014.40.
- Verhagen, R., J. Klooker, J. P. Bakker and R. van Diggelen (2001) Restoration Success of Low-Production Plant Communities on Former Agricultural Soils after Top-Soil Removal. *Applied Vegetation Science* 4 (1): 75-82.

5. Bijlagen

1. 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_OES.

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 oC 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-OES; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL).

Zoutextractie

In de zoutextracten (op initiatief van B-WARE uitgevoerd op een selectie van bodems) werd eerst de 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 concentraties is een goede maat voor de concentratie labiel gebonden fosfaat.

Elementenanalyse (ICP en Autoanalyzers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in grondwater en bodemvocht werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl^-) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer III systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.