Aggenbach, C.J.S., M. Berg, J. Frouz, T. Hiemstra, L. Norda, J. Roymans, R. van Diggelen (2017). Evaluatie strategieën omgang met overmatige voedingsstoffen. OBN2017/214-NZ, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren. Driebergen.

Bijlage 1: Ranges abiotische variabelen natuurdoelen

Caricion nigrae (habitattype H7140A Overgangs- en trilvenen)

Kenschets

Gemeenschappen van het Caricion nigrae komen voor als veenvormende vegetatie en daarnaast ook op veelal organisch stofrijke zandige bodems. Het waterstandsregime is zeer nat tot nat. Vaak betreft het grondwater gevoede locaties met toestroming van relatief basenarm tot matig basenrijk grondwater. Het kan ook voorkomen op locaties waar neerslagwater sterk stagneert. Bij secundaire successie ontstaat de gemeenschap pas in een later stadium.

Organisch-stofgehalte

De variatie in organisch stofgehalte van de bodem in zwarte zeggenvegetaties is erg groot (**Error! Reference source not found.**). Het organisch stofgehalte van de bodem varieert van vrij laag (1,5-10,2%) (Verhagen, 2007), naar middelmatig (19,3%) (Sival & Chardon, 2004) op zandige bodems en tot erg hoog (95%) bij Hommel et al. (2006) die ook meetlocaties had met veenbodem.

	Organische stof (%)			
Referentie	Kemmers	Verhagen, 2007	Sival et al., 2004	Hommel et al., 2006
Minimum	2,3	1,5	0,7	0
25%	4,075			
Mediaan	6,25			
75%	7,4			
Maximum	16,8	10,2	19,3	95
Gemiddelde	6,329167	5,9		37

Zuurgraad

Het verbond van zwarte zegge komt voornamelijk voor bij onder neutrale tot zwak zure condities. Een pH-H2O van 5,0-7,5, wordt als kernbereik gegeven (Runhaar et al., 2009). Een pH-H2O tussen de 4,5 en 5,0 wordt als aanvullend bereik gezien. Hetzelfde beeld wordt teruggevonden in de referentiedata uit de literatuur (Tabel). De meeste referenties liggen tussen de 4,5 en 6,0. De pH-KCl waarden vertonen grotere verschillen tussen de referenties. Runhaar et al. (2009) geven de grootste variatie van 2,8-6,1. De waarden van Sival et al. (2004) vallen hier volledig binnen (3,6-4,8), maar Hommel et al. (2006) vinden ook hogere waarden met een gemiddelde van 6,2 met uitschieters tot 6,8.

	pHH2O				pHKCl			
Referentie	Kemmers	Runhaar et al., 2009	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Kemmers	Sival et al., 2004	Runhaar et al., 2009	Hommel et al., 2006
Minimum	4	4	4,9	4,5	3	3,6	2,8	5
25%	4,8				3,775			
Mediaan	5				3,9			
75%	5,225				4,2			
Maximum	5,8	6,5	5,1	6,1	5	4,8	6,1	6,8
Gemiddelde	5,033333				4,045833			6,2

Stikstof

De totale stikstofgehalten zijn bij de meeste referenties vrij laag en liggen tussen 13 en 268 mmol/kg DG (Tabel). De ammonium- en nitraatgehalten liggen ook vrij laag voor zwarte zeggenvegetaties (Tabel). Ammonium varieert van 40 tot 1680 µmol/l en nitraat van 0-400 µmol/l (Hommel et al., 2006.

	Ntotaal (mmol/kg DG)				Ntotaal (mmol/l)	NO3 (µmol/l)	NH4 (µmol/l)
Referentie	Kemmers	Klooker et al., 1999	Verhagen, 2007	Sival et al., 2004	Kemmers	Hommel et al., 2006	Hommel et al., 2006
Minimum	57	126	51	13	71	0	40
25%	100				108		
Mediaan	134				126		
75%	165				144		
Maximum	284	146	208	268	179	400	1680
Gemiddelde	137	136	130		126	150	380

Fosfaat

Het totaal fosfor gehalte van referenties van zandige bodems zijn laag en liggen grotendeels onder de 5 mmol/kg DG (Tabel**Error! Reference source not found.**).

	Ptotaal (mmol/kg DG)				Ptotaal (mmol/l)	
Referentie	Kemmers	Klooker et al., 1999	Verhagen, 2007	Sival et al., 2004	Kemmers	Hommel et al., 2006
Minimum	1,41	3,93	2,52	0,35	1,5	1
25%	1,94				1,8	
Mediaan	2,11				1,9	
75%	2,13				2,1	
Maximum	3,88	4,37	5,46	4,72	2,4	11
Gemiddelde	2,07	4,15	4		2,0	7

Voor Olsen-P vinden Sival et al. (2004) waarden tussen de 6 en 116 µmol/kg DG, en Hommel et al. (2006) vinden een gemiddelde waarde van 250 µmol/l. Ook voor de P_w vinden Sival et al. (2004) lagere gehalten per volume-eenheid bodem (28-49 µmol/l) dan de andere referentie: 100 µmol/l (Klooker et al., 1999).

	Olsen-P (µmol/kg DG)	Olsen-P (µmol/l)	Pw (µmol/l)		
Referentie	Sival et al., 2004	Hommel et al., 2006	Kemmers	Sival et al., 2004	Klooker et al., 1999
Minimum	6	0	14,09	28,19	88,79
25%			21,14		
Mediaan			49,33		
75%			70,47		
Maximum	116	500	126,85	49,33	112,03
Gemiddelde		250	50,21		100,41

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Hommel et al., 2006	H7140A	09Aa	22	3	0-10	550	4	0,2M NaCl		0,2M NaCl	HNO3/H2O2	Gem (range)
Kemmers	H7140A	09Aa	24	?	?	?	?	?	?		?	Med, 25-75%, range
Klooker et al., 1999	H7140A	09Aa	24	10	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem±SE
Sival et al., 2004	H7140A	09Aa	5	3	0-10	?	?	0,1M HCl	?		?	Range
Verhagen, 2007	H7140A	09Aa	23	10	0-20	950	3		H2SO4		H2SO4	Gem (range)

Caricion davallianae (habitattypen H7230 Kalkmoerassen en H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk))

Kenschets

Op basenrijke, natte zandbodems komt het Caricion davallianae in zoete of sterk verzoete duinvalleien en veelal grondwatergevoede beekdalen en laagten in de hogere zandgronden. In duinvalleien is de Knopbies-associatie (Junco baltici-Schoenetum nigricantis) belangrijk als natuurdoel. Het wordt gekenmerkt door natte omstandigheden, waarbij de standplaatsen in de winter onder water komen staan en in het voorjaar droogvallen. In het binnenland is het Campylio-Caricetum dioicae van belang. Deze gemeenschap komt voor op natte bodem met in de winter en voorjaar de waterstand aan maaiveld en iets uitzakkende grondwaterstanden. Beide gemeenschappen kunnen bij secundaire successie in vroeg stadium ontstaan. Wanneer de pH hoog blijft en de productiviteit laag kunnen ze ook langdurig stand houden.

Organisch-stofgehalte

In tabel**Error! Reference source not found.** worden de organisch stofgehalte van de bodem weergegeven. De waarden voor het Junco baltici-Schoenetum nigricantis variëren in oudere 0,5 tot 8,0% (Koerselman & Stuyfzand, 1993; Lammerts et al., 1999). Hierin ontbreken voorbeelden van oudere valleien met sterk organische bodems. Bij sterke kwel van basenrijk grondwater kan de gemeenschap voorkomen bij een relatief hoog organisch stofgehalte van de bodem. Hommel et al. (2006) vinden lage tot relatief hoge waarden voor het Campylio-Caricetum dioicae (0-24) met een gemiddelde van 8%.

	Organische stof (%)			
Referentie	Koerselman & Stuyfzand, 1993	Lammerts et al., 1999	Hommel et al., 2006	Eigen data
Minimum	2,2	0,5	0	1,2
25%				2,2
Mediaan				3,9
75%				7,1
Maximum	8	7,3	24	15,5
Gemiddelde			8	5,1

Zuurgraad

De pH-ranges liggen relatief hoog met een pH-H20 > 6,5 en pH-KCl > 6.0 (**Error! Reference source not found.**). In kalkrijke bodems is het vooral het kalkgehalte van de bodem dat zorgt voor de neutrale tot basische condities, terwijl in kalkarme duinen aanvoer van basenrijk grondwater nodig is voor de buffering van een relatief hoge pH. Het Junco baltici-Schoenetum nigricantis in duinvalleien komt voornamelijk voor op neutrale tot basische gronden. Een pH-H2O hoger dan 6,5 is optimaal, minder goed ontwikkelde vormen komen voor tot een pH-H2O van 6,0 (Lammerts & Grootjans, 1997; Runhaar et al., 2009). Voor het Campylio-Caricetum dioicae geeft Runhaar et al. (2009) een pH-H2O van 5.5-7.0.

	pH-H2O		pH-KCl						
Referentie	Runhaar et al., 2009	Eigen data	Sýkora et al., 2004	Sýkora et al., 2004	Runhaar et al., 2009	Koerselman & Stuyfzand, 1993	Lammerts et al., 1999	Hommel et al., 2006	Eigen data
Minimum	6,5	6,43	6,25	5,8	6,1	6,2	6,4	6,2	5,98
25%		6,71	6,25	5,9					6,68
Mediaan		6,99	6,3	5,95					7,08
75%		7,26	6,4	6					7,43
Maximum	8	7,54	6,45	6	8,1	8,2	7	7,8	7,71
Gemiddelde		6,99	6,3	5,95				7,1	6,97

Stikstof

De aangetroffen waarden van totaal-stikstof in de literatuur zijn veelal laag en komen goed overeen (Tabel**Error! Reference source not found.**). Waarden variëren van 7 tot 345 mmol/kg DG. Deze verschillen zijn terug te voeren op variatie in organisch stofgehalte.

	Ntotaal (mmol/kg DG)				
Referentie	Sýkora et al., 2004	Sýkora et al., 2004	Koerselman & Stuyfzand, 1993	Lammerts et al., 1999	Eigen data
Minimum	132,1	21,4	21,42	7,14	21,44
25%	132,1	28,6			35,27
Mediaan	142,8	32,1			79,82
75%	149,9	35,7			163,00
Maximum	149,9	35,7	235,6	128,51	343,53
Gemiddelde	142,8	32,1			114,01

Veel waarden voor anorganisch stikstof zijn niet gevonden in de literatuur (Tabel**Error! Reference source not found.**). Eigen data laat zien dat natte duinvalleien voornamelijk bij lage gehalten van nitraat voorkomen (5-45 µmol/kg DG) en ook vrij lage gehalten van ammonium (60-185 µmol/kg DG). Ook Hommel et al. (2006) geven lage waarden voor zowel nitraat als ammonium die grofweg variëren van 0-100 µmol/l.

	NO3 (µmol/kg DG)	NH4 (µmol/kg DG)	NO3 (µmol/l)	NH4 (µmol/l)
Referentie	Eigen data	Eigen data	Hommel et al., 2006	Hommel et al., 2006
Minimum	0,00	28,59	0	0
25%	5,27	62,28		
Mediaan	18,73	118,48		
75%	45,94	184,67		
Maximum	137,95	846,63	100	90
Gemiddelde	37,46	182,45	30	30

Fosfaat

De totaal-fosfor gehalten liggen tussen 1,2 en 12,9 mmol/kg DG (Tabel). Twee referenties vinden waarden van 1,5 tot 5,2 (Koerselman & Stuyfzand, 1993; Sykora et al., 2004). De overige referenties geven waarden die voor het merendeel onder de 10 mmol/kg DG liggen.

	Ptotaal (mmol/kg DG)					Ptotaal (mmol/l)
Referentie	Sýkora et al., 2004	Sýkora et al., 2004	Koerselman & Stuyfzand, 1993	Lammerts et al., 1999	Eigen data	Hommel et al., 2006
Minimum	4,52	1,45	2,26	3,55	1,19	5
25%	4,52	1,61			1,36	
Mediaan	4,84	1,78			3,69	
75%	5,00	1,94			4,57	
Maximum	5,17	2,10	5,17	12,91	12,34	9
Gemiddelde	4,84	1,78			4,16	6,5

Olsen-P waarden zijn in de literatuur alleen gevonden van Hommel et al. (2006), en liggen tussen de 0 en 300 µmol/l (**Error! Reference source not found.**). Onze eigen data lijken te variëren van 0-70 µmol/kg DG, waarvan het merendeel tussen de 17 en 35 µmol/kg DG ligt. P_w gehalten zitten grofweg tussen 5 en 65 µmol/kg DG en verschillen sterk tussen de referenties (Tabel**Error! Reference source not found.**).

	Olsen-P (µmol/kg DG)	Olsen-P (µmol/l)	Pw (µmol/kg DG)		
Referentie	Eigen data	Hommel et al., 2006	Sýkora et al., 2004	Sýkora et al., 2004	Lammerts et al., 1999
Minimum	3,05	0	23,57	0,00	4,21
25%	17,35		24,54	0,00	
Mediaan	28,42		27,44	5,49	
75%	34,71		33,90	5,81	
Maximum	70,28	300	37,13	6,46	64,26
Gemiddelde	28,67	150	27,44	5,49	

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Hommel et al., 2006	H2190B	09Ba	22	3	0-10	550	4	0,2M NaCl		0,2M NaCl	HNO3/H2O2	Gem (streefrange)
Koerselman & Stuyfzand, 1993	H2190B	09Ba	2	?	?	?	?	?	?		?	Range
Lammerts et al., 1999	H2190B	09Ba	2	3	0-5	500	?	1M KCl	H2SO4		H2SO4/HNO3	Range
Sýkora et al., 2004	H2190B	09Ba04	5	4	C-horizont			KCl	H2SO4/H2O2			Med, 25-75%, range
Sýkora et al., 2004	H2190B	09Ba04	5	4	C-horizont			KCl	H2SO4/H2O2			Med, 25-75%, range

Ericion tetralicis (habitattype H4010 Vochtige heide)

Kenschets

Vochtige heiden komen voor op vochtige tot natte, relatief zure, nutriëntenarme bodems op de hogere zandgronden. De belangrijkste gemeenschap is het Ericetum tetralicis. De vegetatie kan variëren afhankelijk van de waterhuishouding, ouderdom, en het leemgehalte van de bodem. Op landschapsniveau kunnen vochtige heiden voorkomen op de oevers van vennen, beekdalflanken, in laagten met een slecht doorlatende ondergrond, en in tot op het zand afgegraven voormalige hoogveengebieden. Bij secundaire successie kan het Ericetum tetralicis in een vroeg stadium van de successie ontstaan. Op oudere organisch stofrijke bodems kan het zich lang handhaven, zolang geen vergrassing optreedt.

Organisch-stofgehalte

De organisch stofgehalten aangetroffen in de literatuur variëren van laag tot vrij hoog (Tabel), variërend van 0 tot 22%. Die van Hommel et al. (2006) reiken zelfs tot 95% hetgeen samenhangt met meetlocaties op hoogveenbodems. De gemiddelden van de andere referenties liggen tussen de 3 en 11%.

	Organische stof (%)					
Referentie	Verhagen, 2007	Sival et al., 2004	Hommel et al., 2006	Smolders et al., 2008	De Graaf et al., 2009	Eigen data
Minimum	0	0,7	0	0,4	0,4	3,65
25%						7,94
Mediaan					5,9	11,26
75%						14,46
Maximum	13,1	8,5	95	7,1	21,7	15,10
Gemiddelde	7,7		20	3,3		10,69

Zuurgraad

De optimale zuurgraad ligt bij een pH-H2O kleiner dan 5,5, dit wordt gezien als het kernbereik van het habitattype. Zwak zure situaties (pH-H2O 5,5-6,0) worden als suboptimaal beschouwd. Dit aanvullend bereik betreft condities waarbij het habitattype niet in goed ontwikkelde vorm in stand gehouden kan worden, maar die wel een waardevolle aanvulling kan leveren in de vorm van soortenrijke overgangssituaties naar heischrale graslanden en blauwgrasland (Runhaar et al., 2009). Waarden voor pH-H2O in de literatuur variëren dan over het algemeen ook van 4 tot 5,5 (**Error! Reference source not found.**). De meeste referenties vallen binnen de range van 4-5,5 en gemiddelde waarden liggen tussen 4,2 en 4,5. Twee referenties geven hogere waarden tot 6,1 (Sival et al., 2004) en 6,5 (Heutz & Paelinckx, 2005).

	pH-H2O						
Referentie	Runhaar et al., 2009	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Dorland et al., 2005	De Graaf et al., 2009	Heutz & Paelinckx, 2005	Eigen data
Minimum	4	4,1	5,2	4,33	3,9	3,5	4,06
25%							4,32
Mediaan					4,4		4,42
75%							4,57
Maximum	5,5	4,3	6,1	4,37	5,4	6,5	4,98
Gemiddelde				4,35		4,4	4,47

Voor pH-KCl worden ranges gegeven van 2,8 tot 6,1, echter de meeste waarden vallen tussen de 3,0 tot 5,0. Gemiddelde waarden variëren van 3,8-4,2. De pH waarden van Sival et al. (2004) liggen relatief hoog. Alhoewel de referenties duiden op een laag pH-bereik, hoeft dit niet te betekenen dat een zeer lage pH niet nadelig is voor natte heide. Door De Graaf et al. (2009) is vastgesteld dat een zeer lage basenrijkdom een negatief effect heeft op de plantensoortenrijkdom van het heidelandschap in zijn geheel (De Graaf et al. 2009).

	pH-KCl				
Referentie	Runhaar et al., 2009	Sival et al., 2004	Hommel et al., 2006	Smolders et al., 2008	Eigen data
Minimum	2,8	4,3	3	3,3	3,08
25%					3,38
Mediaan					3,50
75%					3,78
Maximum	4,8	4,8	5,2	6,1	5,98
Gemiddelde			4,1	4,2	3,84

Stikstof

Uit de literatuur blijkt dat vochtige heiden op hogere zandgronden voornamelijk voorkomen op gronden met totaal stikstof gehalten van 0-192 mmol/kg DG (Tabel). Gemiddelde waarden liggen grofweg tussen de 60 en 180 mmol/kg DG. De eigen data liggen wat hoger met een gemiddelde van 260 mmol/kg DG en het merendeel van de data tussen 125 en 375 mmol/kg DG.

	Ntotaal (mmol/kg DG)			
Referentie	Verhagen, 2007	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Eigen data
Minimum	0	33	13	48,19
25%				126,41
Mediaan				300,89
75%				377,06
Maximum	187	115	192	472,61
Gemiddelde	61	74		261,24

De waarden voor ammonium in de literatuur variëren van 0 tot 814 µmol/kg DG, maar liggen over het algemeen tussen 20 en 500 µmol/kg DG (Tabel). Gemiddelden zijn meestal laag, tussen de 26 en 165 µmol/kg DG. Hommel et al. (2006) vinden waarden tussen de 50 en 1140 µmol/l met een gemiddelde van 390 µmol/l.

Nitraatwaarden liggen vrij laag en variëren van 0-100 µmol/kg DG met gemiddelden die tussen 12 en 18 mmol/kg DG liggen. Hommel et al. (2006) vinden een gemiddelde waarde van 50 en een variatie van 0-200 µmol/l. Verhoogde totaal stikstof gehalten van de bodem zorgen voor een meer pijpenstrootje gedomineerd systeem. Anorganisch stikstof is vooral aanwezig in de vorm van ammonium. Een lage pH, en deels ook natte condities belemmeren de omzetting van ammonium naar nitraat. Hierdoor komt stikstof vooral beschikbaar in de vorm van ammonium. In tegenstelling tot andere soorten, profiteert Pijpenstrootje hiervan (De Graaf, 2000).

	NO3 (µmol/kg DG)			NH4 (µmol/kg DG)				
Referentie	Smolders et al., 2008	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Smolders et al., 2008	De Graaf et al., 2009	De Graaf et al., 2009	Dorland et al., 2005	Eigen data
Minimum	0,5	0	0,00	22	1	0	21	70,84
25%			4,10					81,54
Mediaan		12	4,58		53	73		133,19
75%			19,96					250,85
Maximum	71,9	99	36,01	500	814	509	31	289,68
Gemiddelde	17,6		12,37	143			26	163,55

	NO3 (µmol/l)	NH4 (µmol/l)
Referentie	Hommel et al., 2006	Hommel et al., 2006
Minimum	0	50
25%		
Mediaan		
75%		
Maximum	200	1140
Gemiddelde	50	390

Fosfaat

Totaal fosfor gehalten hebben een range tussen 0 en 9,0 mmol/kg DG en gemiddelde waarden tussen de 1,6 en 4,9 mmol/kg DG (Tabel). Drie referenties (Klooker et al., 1999; Sival et al., 2004; Smolders et al., 2008) liggen voornamelijk tussen de 1 en 5 mml/kg DG. De overige referenties laten vergelijkbare waarden zien maar kunnen ook boven 5 mmo/kg DG liggen. Verhagen, (2007) geeft de grootste range weer van 0-9 mmol/kg DG. Voor de hoeveelheid totaal-fosfor per volume eenheid vinden Hommel et al. (2006) een range van 2-6 mmol/l met een gemiddelde van 5 mmol/l.

	Ptotaal (mmol/kg DG)						Ptotaal (mmol/l)
Referentie	Verhagen, 2007	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Smolders et al., 2008	Belien et al., 2006	Eigen data	Hommel et al., 2006
Minimum	0	2,5	0,35	0,62	1,42	1,24	2
25%						2,25	
Mediaan						6,11	
75%						7,32	
Maximum	8,98	2,74	4,72	3,17	6,46	7,64	6
Gemiddelde	3,29	2,62		1,67		4,88	5

Olsen-P gehalten liggen over het algemeen tussen de 0 en 300 µmol/kg DG (Tabel). Sival et al. (2004) vinden waarden tussen de 6 en 116 µmol/kg DG en Smolders et al. (2006) geven een range van 34-320 µmol/kg DG. Hommel et al. (2006) vinden nog iets hogere waarden tot 420 µmol/kg DG. Ook uitgedrukt per volume grond vinden Hommel et al. (2006) hogere waarden (100-800 µmol/l) dan de andere referentie die waarden van 100-400 µmol/l vindt (Timmermans et al., 2010b).

Voor de P_w worden door twee referenties vrij lage waarden gegeven variërend van 0-1,5 µmol/kg DG met gemiddelde waarden rond 0,5 µmol/kg DG (Smolders et al., 2008). Sival et al. (2004) vinden waarden van 28,2-49,3 µmol/l en Klooker et al. (1999) laten vergelijkbare waarden zien van 25 tot 49 µmol/l met een gemiddelde van 37 µmol/l.

	Olsen-P (µmol/kg DG)				Olsen-P (µmol/l)		Pw (µmol/kg DG)	Pw (µmol/l)	
Referentie	Sival et al., 2004	Smolders et al., 2008	Hommel et al., 2006	Eigen data	Hommel et al., 2006	Timmermans et al., 2010b	Smolders et al., 2008	Sival et al., 2004	Klooker et al., 1999
Minimum	6	34	10	2,48	100	100	0,1	28,19	24,86
25%				8,50					
Mediaan				53,27					
75%				104,93					
Maximum	116	320	420	303,48	800	400	1,5	49,33	48,76
Gemiddelde		164		88,04	300		0,5		36,81

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Belien et al., 2006	H4010A	11Aa										
De Graaf et al., 2009	H4010A	11Aa	18	9	0-10	550	4			H2O & 0,2M NaCl		Med (10-90%)
Dorland et al., 2005	H4010A	11Aa	4	8	?					0,2M KCl		Gem±SE
Heutz & Paelinckx, 2005	H4010A	11Aa										
Hommel et al., 2006	H4010A	11Aa	15	3	0-10	550	4	0,2M NaCl		0,2M NaCl	HNO3/H2O2	Gem (streefrange)
Klooker et al., 1999	H4010A	11Aa	4	10	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem±SE
Sival et al., 2004	H4010A	11Aa	4	3	0-10	?	?	0,1M HCl	?			Range
Smolders et al., 2008	H4010A	11Aa	35	?	0-20	550	?	0,01M HCl			HNO3/H2O2	Gem (streefrange)
Timmermans et al., 2010b	H4010A	11Aa	?	?	0-10							Streefrange
Verhagen, 2007	H4010A	11Aa	3	10	0-20	950	3		H2SO4		H2SO4	Gem (range)

Calluno-Genistion pilosae (habitattypen H2150 Duinheiden met struikhei, H2310 Stuifzandheiden met struikhei, H4030 Droge heiden)

Kenschets

Droge heiden behorende tot het Calluno-Genistion pilosae betreft struikheibegroeiingen. Het komt veel voor op droge, zure bodems tot iets vochtige bodems van de hogere zandgronden en lokaal in binnenduinen. Vegetatiekundig betreft het het Calluna-Genistion pilosae .

Organisch-stofgehalte

De aangetroffen waarden in de literatuur voor organisch stofgehalten laten een bereik van 0 tot 11,9% zien. Gemiddelde waarden liggen tussen de 2,9 en 6,5. Lage gehalten hangen samen met jonge stadia die op geplagde bodems zijn ontstaan en de hogere gehalten met oudere stadia.

	Organische stof (%)				
Referentie	Liczner et al., 2010	Verhagen, 2007	Aerts et al., 1995	De Graaf et al., 2009	Eigen data
Minimum	1,4	0	5,6	1,6	4,06
25%					4,17
Mediaan				4,8	4,53
75%					5,02
Maximum	5,5	6,5	6,6	11,9	5,55
Gemiddelde		2,9	6,5		4,66

Zuurgraad

De droge heiden staan bekend om hun zure standplaats. De optimale zuurgraad van de bodem omvat matig zure tot zure omstandigheden met een kernbereik rond een pH-H2O beneden 5,0. Voor drie van de vier subassociaties die onder het verbond van Struikhei en Kruipbrem vallen is het suboptimale bereik van de pH-H2O tussen de 4,5 en 5. Voor de overige vegetaties zijn pH-H2O waarden van 5,0-5,5 ook nog mogelijk (Runhaar et al., 2009). In de literatuur gevonden waarden voor de pH komen vrij goed overeen met dit beeld (**Error! Reference source not found.**). De pH-H2O varieert van 3,5-6,0 met gemiddelden tussen de 4,1 en 4,4, en de pH-KCl, varieert van 2,8 tot 4,1 met een gemiddelde rond de 3,9.

	pH-H2O							
Referentie	Runhaar et al., 2009	Liczner et al., 2010	Klooker et al., 1999	Klooker et al., 1999	Diaz et al., 2011	De Graaf et al., 2009	Herr et al., 2011	Eigen data
Minimum	4	4	4	4,3		3,8	3,7	4,11
25%								4,19
Mediaan						4,4		4,34
75%								4,59
Maximum	5	6	4,4	4,5		4,9	5	4,99
Gemiddelde			4,2	4,4	4,1		4,2	4,44

	pH-KCl		
Referentie	Runhaar et al., 2009	Mantilla-Contreras et al., 2012	Eigen data
Minimum	2,8	3,8	2,84
25%			3,04
Mediaan			3,28
75%			3,59
Maximum	4,1	4	4,02
Gemiddelde		3,9	3,36

Stikstof

De meeste literatuur bronnen geven waarden voor totaal stikstof in het bereik van 0 tot 68 mmol/kg DG met gemiddelde waarden tussen de 31 en 62 mmol/kg DG (Tabel). Uitgedrukt per volume grond, geven Liczner et al. (2010) een range van 28-102 mmol/l.

	Ntotaal (mmol/kg DG)						Ntotaal (mmol/l)
Referentie	Verhagen, 2007	Klooker et al., 1999	Klooker et al., 1999	Aerts et al., 1995	Mantilla-Contreras et al., 2012	Eigen data	Liczner et al., 2010
Minimum	0	38	26	56	19	47,41	27,8
25%						69,14	
Mediaan						116,80	
75%						422,10	
Maximum	67	59	36	68	24	1216,76	102,4
Gemiddelde	31	51	31	62	21	374,44	

De nitraatgehalten zijn laag 0-100 µmol/kg DG en de ammoniumgehalten zijn iets hoger 0-190 µmol/kg (Tabel). Liczner et al. (2010) geven ammoniumgehalten van 13-380 µmol/l.

	NO3 (µmol/kg DG)		NH4 (µmol/kg DG)			NH4 (µmol/l)
Referentie	De Graaf et al., 2009	Eigen data	De Graaf et al., 2009	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Liczner et al., 2010
Minimum	0	5,45	0	0	8,95	13
25%		25,99			20,94	
Mediaan	2	46,54	7	26	52,20	
75%		73,24			106,30	
Maximum	33	99,94	112	173	186,78	378,9
Gemiddelde		50,64			75,04	

Fosfaat

Droge heiden die voorkomen op humuspodzolen zijn vaak fosfor gelimiteerd en ook voor andere systemen wordt verwacht dat hier een omslag kan plaatsvinden van stikstof limitatie naar fosfor limitatie (Härdtle et al., 2006). Fosforgehalten zijn dus ook belangrijk voor droge heiden. Uit de literatuur blijkt dit ook (Tabel). De meeste referenties geven waarden van totaal fosfor tussen de 0,5 en 4,2 mmol/kg DG en gemiddelden variëren van 0,84 tot 2,75 mmol/kg DG. De eigen data laten hogere totaal fosfor gehalten zien, met een gemiddelde van 7,5 mmol/kg DG.

Uitgedrukt per volume grond geven Liczner et al (2010) een range van 2,9 tot 7,9 mmol/l.

	Ptotaal (mmol/kg DG)						Ptotaal (mmol/l)
Referentie	Verhagen, 2007	Klooker et al., 1999	Klooker et al., 1999	Aerts et al., 1995	Mantilla-Contreras et al., 2012	Eigen data	Liczner et al., 2010
Minimum	0,5	1,13	1,86	0,74	0,18	2,93	2,9
25%						3,18	
Mediaan						3,44	
75%						7,69	
Maximum	3,5	4,22	2,4	0,94	0,21	19,87	7,9
Gemiddelde	2	2,75	2,13	0,84	0,19	7,42	

Ook de P-Olsen waarden zijn relatief laag variërend van 10-230 µmol/kg DG, hoewel de verschillen tussen de referenties ook vrij groot zijn. Ook uitgedrukt per volume grond verschillen de referenties onderling sterk (Tabel). Timmermans et al. (2010) en Van Mullekom et al. (2014) geven een range van 100-400 µmol/l, Liczner et al. (2010) vinden de laagste waarden van 8,3 tot 70 µmol/l, en Diaz et al. (2011) vinden een gemiddelde waarde van 404 µmol/l. Voor Pw geven Klooker et al. (1999) P_w gehalten van 9 tot 42 µmol/l met een gemiddelde tussen 15 en 33 µmol/l.

	Olsen-P (µmol/kg DG)		Olsen-P (µmol/l)				Pw (µmol/l)	
Referentie	Herr et al., 2011	Eigen data	Liczner et al., 2010	Timmermans et al., 2010	Van Mullekom et al., 2014	Diaz et al., 2011	Klooker et al., 1999	Klooker et al., 1999
Minimum	161	12,91	8,3	100	100		24,21	9,23
25%		41,97						
Mediaan		67,80						
75%		96,86						
Maximum	226	135,60	70	400	400		42,29	21,56
Gemiddelde		71,03				404	33,25	14,8

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (˚C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Aerts et al., 1995	H4030	20Aa	1	10	0-10	800	3		C7H6O3		C7H6O3	Gem±SD
De Graaf et al., 2009	H4030	20Aa	28	9	0-10	550	4			H2O & 0,2M NaCl		Med (10-90%)
Diaz et al., 2011	H4030	20Aa	10	25	0-10 (Ap-horizont)							Gem
Herr et al., 2011	H4030	20Aa	8	4	10-20							Range
Klooker et al., 1999	H4030	20Aa	1	4	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem (range)
Klooker et al., 1999	H4030	20Aa	14	10	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem±SE
Liczner et al., 2010	H4030	20Aa	20	3	0-10	550	4		H2SO4/H2O2	1M KCl	H2SO4/H2O2	Streefrange
Mantilla-Contreras et al., 2012	H4030	20Aa	10	3	0-20			0,01M CaCl2	?		M&R	Gem±SE
Timmermans et al., 2010	H4030	20Aa	?	?	?							Streefrange
Van Mullekom et al., 2014	H4030	20Aa	?	?	?							Streefrange
Verhagen, 2007	H4030	20Aa	13	10	0-20	950	3		H2SO4		H2SO4	Gem (range)

Nardo-Galion saxatilis (habitattype H6230 Heischrale graslanden)

Kenschets

Heischrale graslanden betreft in ons land gesloten, half-natuurlijk graslanden op zand- en leembodems. Dit natuurdoeltype is rijk aan allerlei grassoorten en kruiden. Van het verbond het verbond der heischrale graslanden (19Aa Nardo-Galion saxatilis) zij op zandige bodems van de hogere zandronden en duinen de Associatie van Liggend Walstro en Schapengras (Galio hercynici-Festucetum ovinae), de Associatie van Klokjesgentiaan en Borstelgras (Gentiano pneumonanthes-Nardetum) en de Associatie van Maanvaren en Vleugeltjesbloem (Botrychio-Polygaletum) van belang. De twee eerst genoemde vormen op de hogere zandgronden ook vaak geleidelijke overgangen naar de droge en vochtige heiden. Heischrale graslanden komen zowel voor op vochtige als op droge bodems voor. Doorgaans betreft het oudere bodems waarin een humeuze A-horizont is ontstaan. Het Galio hercynici-Festucetum ovinae heeft een droge standplaats, terwijl de andere twee associaties een vochtige bodem nodig hebben met een vrij sterk fluctuerende grondwaterstand.

Op de hogere zandgronden komen beter ontwikkelde heischrale graslanden voornamelijk voor op een lemige zand- en leembodems, die zwak gebufferd zijn. Deels betreft het locaties waar de zuurgraad wordt gebufferd door toestroming van basenhoudend grondwater. In de duinen zijn de meest basenrijke vormen van het Botrychio-Polygaletum gebonden aan ondiep ontkalkte bodems waar periodiek aanvoer van basenrijk grondwater optreedt. In heideterreinen wordt het habitattype lintvormig aangetroffen, vaak langs paden en wegen, of op plekken waar leem is gestort of gewonnen. Ook op plaatsen waar gebufferd materiaal naar de oppervlakte gekomen is door spitten of ploegen kan heischraalgrasland worden aangetroffen. Goed ontwikkelde vormen van heischrale graslanden zijn momenteel zeer zeldzaam en doorgaans betreft het soortenarme rompgemeenschappen.

Organisch-stofgehalte

Organisch stofgehalten van de bodem in heischrale graslanden variëren van laag tot hoog en liggen tussen de 1,4 en 20 % met voor de referenties gemiddelde waarden tussen de 5 en 16% (Tabel). Hommel et al. (2006) vonden de hoogste gehalten, maar hier zullen een aantal venige bodems tussen zitten. De meeste referenties vinden lage waarden tussen de 1,5 en 11,5%.

	Organische stof (%)					
Referentie	Eigen data	Liczner et al., 2010	De Graaf et al., 2009	Hommel et al., 2006	Sival et al., 2004	Critchley et al., 2002b
Minimum	0,30	1,4	2	5	1,4	
25%	2,24					
Mediaan	3,84		5			
75%	7,35					
Maximum	19,39	5,5	11,5	30	6,5	
Gemiddelde	5,46			16		15,4

Zuurgraad

Runhaar et al. (2009) geeft een optimale pH-H2O van 4,5-6,5. Voor de Associaties van Liggend Walstro en Schapengras en van Klokjesgentiaan en Borstelgras worden een pH-H2O van 4,0-4,5 als aanvullend bereik gezien. Bij een pH-H2O <4 ontbreken deze associaties (Runhaar et al., 2009). Een te lage basenrijkdom heeft een negatief effect op de plantensoortenrijkdom van heischrale graslanden (De Graaf et al. 2009). De metingen laten een hogere zuurgraad zien dan de droge heiden en komen overeen met genoemde ondergrens van 4,0 (Tabel). De pH-H2O van de referenties liggen rond de 5,0 en de hoogste waarden reiken tot 6,4.

	pH-H2O									
Referentie	Eigen data	Kemmers	Tilley, 2014	Runhaar et al., 2009	Klooker et al., 1999	Liczner et al., 2010	Sival et al., 2004	De Graaf et al., 2009	Critchley et al., 2002b	Remy, 2012
Minimum	3,97	4,1	4,2	4	5,2	4	4,3	4,3		4,5
25%	4,86	4,1	4,4							
Mediaan	5,17	4,3	4,9					5,1		
75%	5,46	4,8	5,4							
Maximum	6,40	5,7	6,1	6,5	6	6	5,9	5,9		6,2
Gemiddelde	5,20	4,6	4,9		5,6				4,9	

Voor de pH-KCl wordt een range van 2,8-6,1 gegeven door Runhaar et al. (2009). De meeste referenties liggen binnen de uiterste van deze range en variëren van 3,4 tot 5,6 met gemiddelde waarden tussen de 3,9 en 5,2. Enkel de eigen data en Hommel et al. (2006) geven hogere waarden voor pH-KCl, tot 7,3 en 6,9 respectievelijk, het is goed mogelijk dat het in de eigen data een duingebied betreft.

	pH-KCl					
Referentie	Eigen data	Kemmers	Runhaar et al., 2009	Sival et al., 2004	Van Diggelen et al. 2000	Hommel et al., 2006
Minimum	3,20	2,9	2,8	3,4	4	4,1
25%	3,83	3,1				
Mediaan	4,11	3,2				
75%	4,59	4,0				
Maximum	7,28	5,2	6,1	5,4	5,6	6,9
Gemiddelde	4,46	3,6				5,1

Stikstof

Waarden voor totaal stikstof liggen tussen de 8 en 578 mmol/kg DG (Tabel), het merendeel hiervan ligt echter tussen de 32 en 300 mmol/kg DG. Uitgedrukt per volume grond variëren de totaal stikstofgehalten van 27-315 mmol/l, met gemiddelde waarden tussen 85 en 207 mmol/l.

	Ntotaal (mmol/kg DG)				Ntotaal (mmol/l)		
Referentie	Eigen data	Kemmers	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Eigen data	Kemmers	Liczner et al., 2010
Minimum	8,66	186	178	113	27,33	124	27,8
25%	32,80	211			50,87	186	
Mediaan	88,45	300			63,17	213	
75%	168,34	368			98,69	236	
Maximum	439,47	578	204	473	315,32	285	130,9
Gemiddelde	135,33	312	191		84,64	207	

Nitraatgehalten zijn wederom zeer laag en kunnen van 0-247 µmol/kg DG variëren (De Graaf et al., 2009). De meeste nitraatgehalten liggen echter een stuk lager met gemiddelde waarden tussen 8 en 25 µmol/kg DG. Per volume grond zijn nitraatgehalten van 0-500 µmol/l bekend, waarbij de gemiddelde variëren van 57-250 µmol/l.

	NO3 (µmol/kg DG)			NO3 (µmol/l)	
Referentie	Eigen data	Tilley, 2014	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Hommel et al., 2006
Minimum	0,00	0,3	0	9,08	0
25%	13,66	0,3		43,53	
Mediaan	25,44	7,9	14	51,20	
75%	31,50	29		61,66	
Maximum	67,97	84,9	247	130,27	500
Gemiddelde	25,16	7,9		56,71	250

De gehalten die in de literatuur worden aangetroffen van ammonium zijn over het algemeen vrij laag en variëren van 1-705 µmol/kg DG (Tabel). Gemiddelde waarden liggen tussen de 30 en 400 µmol/kg DG. Uitgedrukt per volume grond liggen de ammonium gehalten tussen de 0 en 650 µmol/l (Hommel et al., 2006) en 12-441 µmol/l (Liczner et al., 2010).

Vooral ammonium is een groot probleem voor heischrale graslanden. Een verhoogde beschikbaarheid van ammonium kan negatieve effecten hebben voor meerdere zeldzame heischrale plantensoorten (Van den Berg et al., 2005; Dorland et al., 2003a; Lucassen et al., 2003; De Graaf et al., 1998b). Het hoge aandeel van gereduceerd stikstof in de totale N-depositie in Nederland draagt hier sterk aan bij (Roelofs et al., 1996).

	NH4 (µmol/kg DG)				NH4 (µmol/l)		
Referentie	Eigen data	Tilley, 2014	De Graaf et al., 2009	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Hommel et al., 2006	Liczner et al., 2010
Minimum	7,94	253	1	13	14,20	0	12
25%	8,50	331			16,58		
Mediaan	29,05	399	30	96	141,08		
75%	126,25	467			186,66		
Maximum	705,20	526	212	510	529,07	650	440,9
Gemiddelde	126,21	399			136,99	200	

Fosfaat

De referenties liggen grotendeels onder de 10 mmol/kg DG (Tabel). De eigen geanalyseerde data geeft weliswaar uitschieters tot 17,5 mmol/kg DG maar het merendeel van de data ligt beneden de 10 mmol/kg DG. Gemiddelde waarden liggen tussen 1,9 en 6,8 mmol/kg DG.

Uitgedrukt per volume grond worden vrij hoge totaal fosforgehalten gevonden tot 25,5 mmol/l (eigen data) en 15 mmol/l (Hommel et al., 2006). De meeste waarden liggen tussen 4 en 8 mmol/l. Liczner et al (2010) vinden waarden die variëren van 2,4 tot 8,1 mmol/l. Kemmers geeft waarden van 0,8-2,6 mmol/l . Opvallend is de variatie tussen de verschillende referenties. Heischrale graslanden lijken bij iets hogere fosforgehalten te kunnen voorkomen dan de hiervoor behandelde doeltypen. De grenzen voor heischrale graslanden liggen mogelijk iets hoger dan de reeds bekende grenzen voor voedselarme natuur op zandgronden.

	Ptotaal (mmol/kg DG)						Ptotaal (mmol/l)			
Referentie	Eigen data	Kemmers	Tilley, 2014	Klooker et al., 1999	Sival et al., 2004	Remy, 2012	Eigen data	Kemmers	Liczner et al., 2010	Hommel et al., 2006
Minimum	1,01	0,7	0,8	6,0	1,7	0,7	2,40	0,8	2,4	4,5
25%	2,90	1,4	2,1				4,22	0,8		
Mediaan	4,66	1,4	4,3				5,95	0,9		
75%	6,67	2,1	6,6				7,30	1,6		
Maximum	17,54	4,9	8,0	7,6	10,1	10,3	25,51	2,6	8,1	15,0
Gemiddelde	5,65	1,9	4,3	6,8			6,52	1,3		8,5

De onderstaande tabel**Error! Reference source not found.** geeft de gevonden meetwaarden voor Olsen-P. Het gros van de waarden liggen tussen de 10 en 646 µmol/kg DG en gemiddelden variëren van 104-345 µmol/kg DG. De eigen data geeft wel een uitschieter tot 1700 µmol/kg DG, maar ook hier ligt het merendeel onder de 150 µmol/kg DG.

	Olsen-P (µmol/kg DG)					
Referentie	Eigen data	Tilley, 2014	Ceulemans et al., 2013	Sival et al., 2004	Bobbink et al., 2009	Remy, 2012
Minimum	4,59	2	13	58	129	3
25%	19,37	51				
Mediaan	32,29	247				
75%	150,41	443				
Maximum	1698,20	573	646	920	323	646
Gemiddelde	167,72	247	345			

Uitgedrukt in µmol/l liggen de meeste data onder de 400 µmol/l. Enkel de eigen data en de data van Hommel et al. (2006) liggen hier boven, hoewel ook het merendeel van de eigen data onder de 70 µmol/l ligt. Liczner et al. (2010) geven vrij lage waarden die vergelijkbaar zijn met het merendeel van de eigen data. Critchley et al (2002b) zit er tussenin met een gemiddelde van 345 µmol/l en een maximum van 484 µmol/l. Drie referenties (Bobbink et al., 2009; Timmermans et al., 2010a; Smolders & Van Mullekom, 2010) geven waarden van 100-400 µmol/l, maar dit is gegeven als een streefrange die vermoedelijk op eenzelfde dataset of inschatting is gebaseerd en wellicht niet als daadwerkelijke meetwaarden gezien moeten worden.

	Olsen-P (µmol/l)						
Referentie	Eigen data	Liczner et al., 2010	Hommel et al., 2006	Critchley et al., 2002b	Timmermans et al., 2010b	Van Mullekom et al., 2014	Bobbink et al., 2009
Minimum	10,66	8	300	129	100	100	100
25%	20,63						
Mediaan	32,47						
75%	66,61						
Maximum	2470,21	118	750	484	400	400	400
Gemiddelde	153,36		600	345			

Voor P_w gehalten bestaat er veel variatie tussen de referenties onderling. Klooker et al. (1999) vinden waarden van 52-61 µmol/l, uit de dataset van Kemmers komen P_w gehalten van 7-63 µmol/l naar voren en als laatste geven Sival et al. (2004) waarden van 28 tot 268 µmol/l. Deze laatste waarden zijn op twee locaties gebaseerd, waarvan één waarschijnlijk een minder goed ontwikkeld heischraal grasland betrof.

	Pw (µmol/l)		
Referentie	Kemmers	Sival et al., 2004	Klooker et al., 1999
Minimum	7	28	51,98
25%	14		
Mediaan	21		
75%	42		
Maximum	63	268	61,02
Gemiddelde	27		56,50

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Bobbink et al., 2009	H6230	19Aa	?	?	?							Streefrange
Ceulemans et al., 2013	H6230	19Aa	132	10	0-10							Gem (range)
Critchley et al., 2002b	H6230	19Aa	1	20	?	?	?					Gem
De Graaf et al., 2009	H6230	19Aa	60	9	0-10	550	4			H2O & 0,2M NaCl		Med (10-90%)
Eigen data	H6230	19Aa	27	3	0-10	550	4	1M KCl	H2SO4/H2O2	1M KCl	H2SO4/H2O2	Med, 25-75%, range
Hommel et al., 2006	H6230	19Aa	5	3	0-10	550	4	0,2M NaCl		0,2M NaCl	HNO3/H2O2	Gem (range)
Kemmers	H6230	19Aa	14	?	?			?	?		?	Med, 25-75%, range
Klooker et al., 1999	H6230	19Aa	46	10	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem±SE
Liczner et al., 2010	H6230	19Aa	20	3	0-10	550	4		H2SO4/H2O2	1M KCl	H2SO4/H2O2	Streefrange
Remy, 2012	H6230	19Aa	23	5	0-10			1M KCl			HClO4/HNO3/H2SO4	Range
Sival et al., 2004	H6230	19Aa	5	3	0-10	?	?	0,1M HCl	?		?	Range
Tilley, 2014	H6230	19Aa	19	4	0-10					1M KCl	HClO4/HNO3/H2SO4	Gem±SE, range
Timmermans et al., 2010b	H6230	19Aa	?	?	?							Streefrange
Van Diggelen et al. 2000	H6230	19Aa	?	?	?			?				Streefrange
Van Mullekom et al., 2014	H6230	19Aa	?	?	?							Streefrange

Corynephorion canescentis en Plantagini-Festucion (habitattypen H2130B Grijze duinen (kalkarm) & H2330 Zandverstuivingen)

Kenschets

Gemeenschappen van het Corynephorion canescentis komen voor in het binnenland, geassocieerd met zandverstuivingen en andere jonge bodem en in de kalkarme duinen. Het Plantagini-Festucion komt voor in doorgaans oppervlakkig ontkalkte duingebieden. Kalkarme grijze duinen komen veelal voor op matig voedselarme tot licht voedselrijke bodems, waarbij zeer voedselarm als aanvullend wordt beschouwd (Runhaar et al., 2009). Toch wordt ook hierin veel variatie aangetroffen, wat voornamelijk afhangt van het ijzergehalte van de bodem. Bodemchemisch kunnen in Nederland twee typen kalkarme grijze duinen onderscheiden worden, het Renodunaal district en het Waddendistrict. De duinen in het Renodunaal district bevatten van nature meer kalk en ijzer dan die van het Waddendistrict (Eisma, 1986; Kooijman et al., 1998). Dit is van invloed op de beschikbaarheid van fosfor in de bodem, doordat ijzer fosfor bindt. Een geringe fosfaatbeschikbaarheid treedt echter alleen in relatief jonge bodems met weinig organische stof (<4%) (Kooijman et al., 1998).

Aangezien dit habitattype meerdere vrij verschillende vegetaties bevat, is er onderscheid gemaakt op associatieniveau. Hieronder staat een lijst met de verschillende associaties en hun corresponderende code.

Associatie		
Code	Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam
14Aa01	*Spergulo-Corynephoretum*	Associatie van Buntgras en Heidespurrie
14Aa02	*Violo-Corynephoretum*	Duin-Buntgras-associatie
14Ba01	*Ornithopodo-Corynephoretum*	Vogelpootjes-associatie
14Bb01	*Festuco-Thymetum serpylli*	Associatie van Schapegras en Tijm
14Bb02	*Festuco-Galietum veri*	Duin-Struisgras-associatie
14Ca03	*Tortello- Bryoerythrophylletum*	Associatie van Oranjesteeltje en Langkapselsterretje

Organisch-stofgehalte

De waarden van organisch stof uit de literatuur variëren van 0 tot 10,8% (Critchley et al., 2002) (Tabel). De gemiddelde waardes liggen tussen 1,3 en 5,0. In kalkarme duingraslanden neemt in het begin van secundaire successiereeksen (0-40 jaar) met een toenemend organisch stofgehalte de soortenrijkdom toe (Aggenbach et al., 2013).

	Organische stof (%)						
Associatie	14Aa02		14Aa	14Ba01	14Bb01	14Bb02	14Bb
Referentie	Kooijman et al., 1998	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Critchley et al., 2002b	Sival et al., 2009	Kooijman et al., 1998	Eigen data
Minimum	1,4	0,8	1,15	0		1,4	1,06
25%			1,34				4,35
Mediaan		1,3	1,49				5,14
75%			1,68				6,12
Maximum	8	1,5	2,02	10,82		8	7,59
Gemiddelde	4,7		1,54	5	3,4	4,7	4,96

Zuurgraad

De meeste gemeenschappen hebben een lage tot intermediaire zuurgraad in de range waar kalkbuffering in de toplaag niet speelt (Tabel). Een beperkt aantal gemeenschappen kan ook bij hogere pH waarden voorkomen. Het bereik van het Violo-Corynephoretum (14Aa02)en van het Plantagini-Festucion (14Bb) loopt door tot boven de pH waarden van 8. Het Spergulo-Corynephoretum (14Aa01) heeft een lage pH-range van 4-5. De overige associaties komen bij een intermediair bereik voor met pH-H2O variërend van 4,5-7,5.

	pH-H2O					
Associatie	14Aa01	14Aa02			14Aa	14Ba01
Referentie	Runhaar et al., 2009	Runhaar et al., 2009	Ketner-Oostra, 2000	De Graaf et al., 2009	Eigen data	Runhaar et al., 2009
Minimum	4	5	4,9	4,4	5,24	4,5
25%					5,28	
Mediaan				5,1	5,39	
75%					5,79	
Maximum	5	6,5	8,6	5,8	6,71	5,5
Gemiddelde			6,5		5,68	
	pH-H2O					
Associatie	14Ba01	14Bb01		14Bb02	14Bb	14Ca03
Referentie	Critchley et al., 2002b	Runhaar et al., 2009	Sival et al., 2009	Runhaar et al., 2009	Eigen data	Runhaar et al., 2009
Minimum	4,83	4,5		5,5	4,83	6,5
25%					5,84	
Mediaan					6,01	
75%					6,47	
Maximum	7,37	6		6,5	8,11	7,5
Gemiddelde	6,1		5,2		6,14	

De pH-KCl laat hetzelfde beeld zien, waar het bereik van Violo-Corynephoretum van 2,8-9 doorloopt en het Spergulo-Corynephoretum een lage pH-KCl heeft van 2,8-4,1. De overige associaties komen bij een intermediair bereik van 3,5-7 voor.

	pH-KCl						
Associatie	14Aa01	14Aa02				14Ba01	14Bb01
Referentie	Runhaar et al., 2009	Runhaar et al., 2009	Ketner-Oostra, 2000	Kooijman et al., 1998	Mantilla-Contreras et al., 2012	Runhaar et al., 2009	Runhaar et al., 2009
Minimum	2,8	2,8	3,9	3,2	4	3,5	3,5
25%							
Mediaan							
75%							
Maximum	4,1	6,1	9	3,8	4,4	4,8	5,5
Gemiddelde			6	3,5	4,2		
	pH-KCl						
Associatie	14Bb02				14Bb	14Ca03	
Referentie	Runhaar et al., 2009	Kooijman et al., 1998	Veer, 1997	Veer, 1997	Eigen data	Runhaar et al., 2009	
Minimum	4,8	3,2	4,8	6,8	3,45	6,1	
25%					4,22		
Mediaan					4,36		
75%					5,25		
Maximum	6,1	3,8	6	7,2	6,11	7,5	
Gemiddelde		3,5			4,64		

Stikstof

De gemeenschappen van deze groep hebben een grote variatie aan totaal-stikstofgehalten die samenhangt met de variatie in organisch stofgehalten (Tabel). Deze verschillen hebben te maken met dat de gemeenschappen deels als pioniergemeenschap aanwezig zijn op jonge bodems en deels ook in een later successiestadium op bodems met een humushoudende toplaag ontstaan of aanwezig blijven. Gemiddelde waarden liggen tussen 17 tot 150 mmol/kg DG met uitschieters van 1 tot 210 mmol/kg DG. Veer (1997) vond waarden tussen 20 en 28 mmol/l.

	Ntotaal (mmol/kg DG)							Ntotaal (mmol/l)
Associatie	14Aa01			14Aa	14Bb01	14Bb02	14Bb	14Bb02
Referentie	Kooijman et al., 1998	Ketner-Oostra, 2000	Mantilla-Contreras et al., 2012	Eigen data	Sival et al., 2009	Kooijman et al., 1998	Eigen data	Veer, 1997
Minimum	14	1	12	23,67		14	81,29	20
25%				29,18			117,76	
Mediaan				36,76			154,29	
75%				44,68			164,68	
Maximum	172	57	16	51,22		172	209,77	28
Gemiddelde	93	17	14	37,10	100	93	146,51	

Nitraat varieert van 0 tot 200 µmol/kg DG en het gemiddelde ligt tussen de 30 en 120 µmol/kg DG (Tabel). Voor ammoniumgehalten vonden De Graaf et al. (2009) voor de Duin-Buntgras-associatie waarden van 1-99 µmol/kg DG met gemiddelden van 25 en 35 µmol/kg DG. De gevonden waarden in de eigen dataset voor het Plantagini-Festucion liggen veel hoger, variërend van 350-450 µmol/kg DG met een gemiddelde van 380 µmol/kg DG.

	NO3 (µmol/kg DG)		NH4 (µmol/kg DG)		
Associatie	14Aa02	14Bb	14Aa02		14Bb
Referentie	De Graaf et al., 2009	Eigen data	De Graaf et al., 2009	De Graaf et al., 2009	Eigen data
Minimum	0	55,55	1	7	343,22
25%		78,97			351,86
Mediaan	27	102,40	25	35	360,50
75%		154,20			403,51
Maximum	150	206,00	80	99	446,52
Gemiddelde		121,32			383,41

Fosfaat

Het totaal fosfor gehalte van de bodem ligt grofweg tussen de 1 en 9 mmol/kg DG en gemiddelde waarden variëren van 2-5 mmol/kg DG (Tabel). Ketner-Oostra (2000) vindt zowel de hoogste waarde (8,72 mmol/kg DG), als de grootste variatie (2,58-8,72 mmol/kg DG) maar gebruikt een ander extract dan de overige referenties. De meeste referenties liggen grotendeels tussen 1 en 4 mmol/kg DG. Enkel Mantilla-Contreras et al. (2012) vinden veel lagere waarden (0,26-0,32 mmol/kg DG). Veer (1997) vond totaal fosforgehalten van 3,8-6,0 mmol/l.

	Ptotaal (mmol/kg DG)					Ptotaal (mmol/l)
Associatie	14Aa02			14Bb01	14Bb02	14Bb02
Referentie	Kooijman et al., 1998	Ketner-Oostra, 2000	Mantilla-Contreras et al., 2012	Sival et al., 2009	Kooijman et al., 1998	Veer, 1997
Minimum	1,29	2,58	0,26		1,29	3,87
25%						
Mediaan						
75%						
Maximum	3,87	8,72	0,32		3,87	6,03
Gemiddelde	2,58	5,22	0,29	4,2	2,58	

Van het Olsen-P gehalte van de bodem is beperkt literatuur beschikbaar (**Error! Reference source not found.**). Alleen Critchley et al. (2002b) geven een gemiddelde waarde van 752 µmol/l droge grond met een standaarddeviatie van 590 µmol/l. De variatie binnen de waarneming is groot. Voor P_w is ook beperkt literatuur gevonden. Sival et al. (2009) geeft een gemiddelde waarde van 54 µmol/l.

	Olsen-P (µmol/l)	Pw (µmol/l)
Associatie	14Ba01	14Bb01
Referentie	Critchley et al., 2002b	Sival et al., 2009
Minimum	162	
25%		
Mediaan		
75%		
Maximum	1342	
Gemiddelde	752	54,3

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (˚C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Critchley et al., 2002b	H2130B	14Ba01	10	20	0-7,5	?	?					Gem±SD
De Graaf et al., 2009	H2130B	14Aa02	6	9	0-10	550	4			H2O & 0,2M NaCl		Med (10-90%)
Ketner-Oostra, 2000	H2130B	14Aa02	12	8 tot 10	0-10			1M KCl	H2SO4		M&R	Gem (range)
Kooijman et al., 1998	H2130B	14Aa02	3	7	Ah-horizont	550	?	0,01M CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Gem±SD
Kooijman et al., 1998	H2130B	14Bb02	1	7	Ah-horizont	550	?	0,01M CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Gem±SD
Mantilla-Contreras et al., 2012	H2130B	14Aa02	6	3	0-20			0,01M CaCl2	?		M&R	Gem±SE
Sival et al., 2009	H2130B	14Bb01	1	3	0-10	550	?		HNO2/H2SO4/Se		HNO2/H2SO4/Se	Gem
Veer, 1997	H2130B	14Bb02	4	4	Ah-horizont			CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Range

Tortulo-Koelerion en Polygalo-Koelerion (habitattye H2130A Grijze duinen (kalkrijk))

Kenschets

Het habitattype H2130A Grijze duinen (kalkrijk) omvat de drogere graslanden van het duingebied op basenrijke bodems. Het betreft soortenrijke vegetaties met dominantie van laagblijvende grassen, kruiden, mossen en/of korstmossen. Grijze duinen ontstaan achter de zeereep op plekken waar voldoende beschutting is voor het ontstaan van gesloten vegetaties met kruiden en mossen. Pionierstadia met gemeenschappen van het Tortulo-Koelerion ontstaan op humusarme bodems. Voor gesloten begroeiingen betreft oudere stadia (> 2 decennia) op bodems waarin een humushoudende A-laag is gevormd. Het habitattype dankt zijn naam aan de grijze C-horizont die typisch is voor de bodems in grijze duinen. Voor de instandhouding van basenrijke duingraslanden is verstuiving (nieuwvorming van kalkrijke bodems, overstuiving met kalkrijk zand) een belangrijk proces. Lichte begrazing door konijnen draagt ook bij aan een zeer kleinschalige heterogeniteit. Tijdens de bodemvorming treden belangrijke veranderingen in de bodem op, zoals ontkalking, accumulatie van organisch stof, en veranderingen in nutriëntenbeschikbaarheid. Oudere duingraslanden blijven soortenrijk zo lang de toplaag nog niet ontkalkt en verzuurd (Aggenbach et al. 2013). In dit onderzoek behandelen we enkel de goed ontwikkelde vegetaties van het Duinsterretjes-verbond (14Ca Tortulo-Koelerion) en het verbond der droge, kalkrijke duingraslanden (14Cb Polygalo-Koelerion).

Organisch-stofgehalte

Het organische stofgehalte van de bodemtoplaag varieert van 1 tot 15 % (Tabel). Meestal is het organisch stofgehalte lager dan 7 %. De laagste waarden treden op in pioniergemeenschappen van het Tortulo-Koelerion. Bij bodemsuccessie neemt gedurende de eerste 60 jaar het organisch stofgehalte en -voorraad toe en ontstaan graslanden van het Polygalo-Koelerion. Daarna vlakt de accumulatie sterk af. Soortenrijke graslanden ontstaan in secundaire successiereeksen op humusarme zand na 2 tot 4 decennia (Aggenbach et al.2013).

	Organische stof (%)				
Verbond	Tortulo-Koelerion		Polygalo-Koelerion		
Referentie	Aggenbach et al., 2013	Eigen data	Aggenbach et al., 2013	Kooijman et al., 1998	Eigen data
Minimum	1	0,62	2	2	1,06
25%		1,04			3,04
Mediaan		1,30			4,57
75%		2,69			5,65
Maximum	3	6,23	13	5,4	14,51
Gemiddelde		1,90		3,7	4,92

Zuurgraad

De ecologische variatie binnen het habitattype grijze duinen (H2130) is groot, mede dankzij de grote variatie in kalkgehalte van de bodem die basisch tot matig zuur kan zijn (Runhaar et al., 2009). Op grond hiervan kunnen grofweg drie subtypen worden onderscheden (A,B, en C). De overgang tussen de subtypen is echter gradueel en de pH-water van de bodem kan variëren van 4,5 tot 7,5 (pH-KCl: 3,5-7,5). De optimale zuurgraad voor de kalkrijke grijze duinen (subtype A) ligt boven de 6,5 (pH-water), maar een zuurgraad van 5,5-6,5 in de ondiepe bodemlaag geldt ook als kernbereik (Runhaar et al., 2009). De gevonden waardes in de literatuur komen goed overeen (Tabel). De pH-KCl is ook hoog en varieert van 4,3 tot 8,1 met gemiddelde waardes rond de 5,6 en 6,7. Over het algemeen komen beide verbonden goed overeen, maar het Duinsterretjes-verbond lijkt een minder grote range te hebben dan het verbond van droge, kalkrijke duingraslanden en komt voornamelijk bij iets hogere pH-waarden.

	pH-H2O			
Verbond	Tortulo-Koelerion		Polygalo-Koelerion	
Referentie	Runhaar et al., 2009	Eigen data	Runhaar et al., 2009	Eigen data
Minimum	6,5	6,29	5,5	5,27
25%		7,01		6,05
Mediaan		7,58		6,35
75%		8,00		6,61
Maximum	8	8,74	8	7,48
Gemiddelde		7,52		6,36

	pH-KCl						
Verbond	Tortulo-Koelerion			Polygalo-Koelerion			
Referentie	Runhaar et al., 2009	Veer, 1997	Eigen data	Runhaar et al., 2009	Kooijman et al., 1998	Veer, 1997	Eigen data
Minimum	6,1	6,9	6,13	4,8	5,9	5,6	4,34
25%			6,51				4,71
Mediaan			6,72				5,54
75%			6,93				5,98
Maximum	8,1	7	7,23	8,1	7,1	6,7	7,73
Gemiddelde			6,71		6,5		5,63

Stikstof

De ranges voor stikstof zijn vrij laag (Tabel) het geen samenhangt met het relatief lage organisch stofgehalte in droge duinbodems. Kooijman et al. (1998) geven een range van 64-150 mmol/kg DG met een gemiddelde van 107 mmol/kg DG voor het Polygalo-Koelerion. De eigen data geeft een laag gemiddelde voor het Tortulo-Koelerion van 50 mmol/kg DG en een iets hoger gemiddelde voor het Polygalo-Koelerion van 150 mmol/kg DG. Uitgedrukt per volume grond geeft Veer (1997) vergelijkbare lage gemiddelde waarden van 54 en 75 µmol/l voor respectievelijk het Tortulo-Koelerion en Polygalo-Koelerion.

	Ntotaal (mmol/kg DG)			Ntotaal (mmol/l)	
Verbond	Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion		Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion
Referentie	Eigen data	Kooijman et al., 1998	Eigen data	Veer, 1997	Veer, 1997
Minimum	6,71	64	27,89		
25%	13,84		65,44		
Mediaan	20,99		141,20		
75%	56,14		220,73		
Maximum	188,72	150	327,25		
Gemiddelde	49,77	107	150,43	53,78	75,2

Voor het anorganisch stikstofgehalte in de bodem zijn geen referenties in de literatuur gevonden. Volgens Kooijman et al. (2014) zou nitrificatie in duingraslanden snel verlopen, waardoor te verwachten valt dat er veel nitraat in verhouding tot ammonium zou worden aangetroffen. De eigen data geeft dat zeker voor het Tortulo-Koelerion goed weer, waar de gemiddelde waarde van nitraat (590 µmol/kg DG) hoger is dan die van ammonium (240 µmol/kg DG). Voor het Polygalo-Koelerion lijkt dat niet het geval, met een gemiddelde van 87 en 280 µmol/kg DG voor nitraat en ammonium respectievelijk.

	NO3 (µmol/kg DG)		NH4 (µmol/kg DG)	
Verbond	Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion	Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion
Referentie	Eigen data	Eigen data	Eigen data	Eigen data
Minimum	20,49	32,19	25,03	82,73
25%	47,60	52,74	89,11	137,08
Mediaan	52,47	64,53	127,28	193,31
75%	147,53	99,14	397,25	335,50
Maximum	3194,80	188,17	596,36	647,73
Gemiddelde	590,90	87,35	239,93	279,27

Fosfaat

De gehalten van fosfor waar het habitattype op aangetroffen wordt staan weergegeven in Tabel. De waarden van totaal fosfor zijn vrij laag en variëren van 1-10,2 mmol/kg DG. Het merendeel van de data ligt tussen de 2 en 5,5 mmol/kg DG. Ook uitgedrukt per volume grond, liggen de waarden rond de 5 mmol/l.

	Ptotaal (mmol/kg DG)			Ptotaal (mmol/l)	
Verbond	Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion		Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion
Referentie	Eigen data	Kooijman et al., 1998	Eigen data	Veer, 1997	Veer, 1997
Minimum		4,84	1,02		
25%			2,16		
Mediaan			4,62		
75%			5,61		
Maximum		6,78	10,20		
Gemiddelde	2,30	5,81	4,62	5,38	4,74

De Olsen-P gehalten lijken wel heel laag in de bodem, en variëren van 30-125 µmol/kg DG.

	Olsen-P (µmol/kg DG)	
Verbond	Tortulo-Koelerion	Polygalo-Koelerion
Referentie	Eigen data	Eigen data
Minimum		34,76
25%		47,52
Mediaan		60,27
75%		80,79
Maximum		101,30
Gemiddelde	125,21	65,45

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
Kooijman et al., 1998	H2130A	14Cb	3	7	Ah-horizont	550	?	0,01M CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Gem±SD
Veer, 1997	H2130A	14Ca	4	4	Ah-horizont			CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Gem
Veer, 1997	H2130A	14Cb	4	4	Ah-horizont			CaCl2	H2SO4/H2O2		H2SO4/H2O2	Gem

Junco-Molinion (habitattype H6410 Blauwgraslanden, H7230 Kalkmoerassen)

Kenschets

Blauwgraslanden zijn soortenrijke hooilanden op voedselarme, basenhoudende bodems. Blauwgraslanden omvat het Verbond van Biezeknoppen en Pijpenstrootje (16Aa Junco-Molinion) welke een grote variatie in soortensamenstelling kennen, afhankelijk van de bodem, hydrologie en geografische ligging. Het waterstandsregime is nat tot vochtig. Op de hogere zandgronden is het op kalkarme bodems voor een duurzame buffering van de zuurgraad afhankelijk van kwel van basenrijk grondwater. Af en toe is op locaties op de hogere zandgronden sprake van buffering door kalk. Bij secundaire successie ontstaan Blauwgraslanden pas na enige tijd (5-10 jaar).

Organisch-stofgehalte

Het organisch stofgehalte van de bodem in de blauwgraslanden is matig hoog tot zeer hoog (Tabel). De zeer hoge waarden van Hommel et al. (2006) hangen samen met meetlocaties op veenbodems. Door het voorkomen van blauwgraslanden op grondwater beïnvloede locaties wordt de afbraak van organisch stof enigszins beperkt.

	Organische stof (%)			
Referentie	Kemmers	De Graaf et al., 2009	Hommel et al., 2006	Eigen data
Minimum	4,7	8,2	9	11,29
25%	6,825			12,85
Mediaan	7,85	18,1		14,40
75%	9,8			15,95
Maximum	36,7	64,5	93	17,51
Gemiddelde	9,4		42	14,40

Zuurgraad

Blauwgraslanden komen voor op zwak tot matig zure bodems met een pH-H2O tussen 4,5 en 6,5. Hogere waarden (6,5-7,0) zijn suboptimaal evenals pH-H2O waarden tussen 4,5 en 5,0 (Runhaar et al., 2009). Waarden van de referenties met metingen liggen altijd tussen 4,1 en 6,4 (Tabel), welke goed overeen komen met de range van Runhaar et al. (2009). Voor de pH-KCl liggen de waarden voor de blauwgraslanden tussen de 3 en 7,1

	pH-H2O					
Referentie	Kemmers	Runhaar et al., 2009	Klooker et al., 1999	De Graaf et al., 2009	Dorland et al., 2005	Eigen data
Minimum	4,1	4,5	5,2	4,7	4,25	
25%	5,6					
Mediaan	5,9			5,6		
75%	6,0					
Maximum	6,3	7,0	6	6,4	4,33	
Gemiddelde	5,7		5,6		4,29	4,12

	pH-KCl			
Referentie	Kemmers	Runhaar et al., 2009	Hommel et al., 2006	Eigen data
Minimum	3,0	3,5	4,5	3,57
25%	4,8			3,76
Mediaan	5,1			3,95
75%	5,4			4,13
Maximum	6,0	6,8	7,1	4,32
Gemiddelde	5,0		6,0	3,95

Stikstof

Totaal stikstofgehalten van de bodem in blauwgraslanden liggen volgens Klooker et al. (1999) rond de 191 mmol/kg DG met een standaarddeviatie van 13 mmol/kg DG (Tabel). Kemmers geeft een grotere range maar een vergelijkbaar gemiddelde van 192 mmol/kg DG. De eigen data geeft twee iets hogere waarden van 230 en 350 mmol/kg DG. Hoge N-totaal gehalten hangen samen met een hoog organisch stofgehalte.

	Ntotaal (mmol/kg DG)			Ntotaal (mmol/l)
Referentie	Kemmers	Klooker et al., 1999	Eigen data	Kemmers
Minimum	93	178	233,26	84
25%	159		263,29	142
Mediaan	173		293,33	158
75%	213		323,36	171
Maximum	386	204	353,39	258
Gemiddelde	192	191	293,33	160

Nitraatgehalten liggen laag met een gemiddelde van 17 µmol/kg DG. De totale range voor blauwgraslanden loopt van 4 tot 129 µmol/kg DG (De Graaf et al., 2009). Hommel et al. (2006) geven een range van 0-600 µmol/l.

Ammoniumgehalten liggen vrij laag in blauwgraslanden. De Graaf et al. (2009) vinden veel variatie voor meetlocaties variërend van 20-760 µmol/kg DG, terwijl Dorland et al. (2005) een veel kleiner bereik vinden van 61-79 µmol/kg DG. De eigen data geeft één uitschieter van 1800 µmol/kg DG, wat ver boven de andere waarden ligt. Het andere punt geeft echter een gehalte van 350 µmol/kg DG wat beter past bij de overige referenties. Hommel et al. (2006) geven een range van 0-430 µmol/l.

	NO3 (µmol /kg DG)		NH4 (µmol/kg DG)				NO3 (µmol/l)	NH4 (µmol/l)
Referentie	De Graaf et al., 2009	Eigen data	De Graaf et al., 2009	De Graaf et al., 2009	Dorland et al., 2005	Eigen data	Hommel et al., 2006	Hommel et al., 2006
Minimum	4		19	25	61	346,78	0	30
25%						707,09		
Mediaan	17		53	236		1067,39		
75%						1427,69		
Maximum	129		258	757	79	1787,99	600	430
Gemiddelde		4,03			70	1067,39	150	200

Fosfaat

Totaal fosforgehalten in blauwgraslanden liggen ten opzichte van de meest schrale natuurdoeltypen relatief hoog (Tabel). Voor blauwgraslanden geven Klooker et al. (1999) een gemiddelde waarde van 6,8 mmol/kg DG met een standaarddeviatie van 0,83 mmol/kg DG. Kemmers geeft vergelijkbare waarden variërend van 2-11. Uitgedrukt per volume variëren totaal fosforgehalten van 0,5-12,5 mmol/l, maar het merendeel ligt tussen 2 en 8 mmol/l.

	Ptotaal (mmol/kg DG)			Ptotaal (mmol/l)	
Referentie	Kemmers	Klooker et al., 1999	Eigen data	Kemmers	Hommel et al., 2006
Minimum	1,90	5,96	7,67	1,80	0,50
25%	2,61		8,45	2,23	
Mediaan	2,82		9,24	2,36	
75%	3,52		10,03	2,77	
Maximum	10,57	7,62	10,81	7,51	12,50
Gemiddelde	3,38	6,79	9,24	2,70	7,50

Van Olsen-P gehalten zijn weinig data in de literatuur beschikbaar (Tabel). Alleen Hommel et al. (2006) geven een range van 100-400 µmol/l met een gemiddelde van 250 µmol/l voor blauwgraslanden. Eigen data geven waarden van 10-1300 µmol/kg DG, waarvan het merendeel tussen de 330 en 970 µmol/kg DG liggen.

	Olsen-P (µmol/kg DG)	Olsen-P (µmol/l)	Pw (µmol/l)	
Referentie	Eigen data	Hommel et al., 2006	Kemmers	Klooker et al., 1999
Minimum	11,30	100	7,0	51,98
25%	331,58		15,9	
Mediaan	651,86		35,2	
75%	972,14		42,3	
Maximum	1292,42	400	70,5	61,02
Gemiddelde	651,86	250	31,9	56,50

De P_w is wel vrij laag voor blauwgraslanden (Tabel). Klooker et al. (1999) geven lage waarden van grofweg 52-61 µmol/l. Kemmers geeft een grotere range tussen 7 en 71 µmol/l met een gemiddelde van 32 µmol/l.

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	locatie	sample	cm	Temperatuur (°C)	Duur (uur)	pHKCl	Ntotaal	NH4	Ptotaal	
De Graaf et al., 2009	H6410	16Aa	11	9	0-10	550	4			H2O & 0,2M NaCl		Med (10-90%)
Dorland et al., 2005	H6410	16Aa	6	9	?					0,2M KCl		Gem±SE
Hommel et al., 2006	H6410	16Aa	20	3	0-10	550	4	0,2M NaCl		0,2M NaCl	HNO3/H2O2	Gem (range)
Kemmers	H6410	16Aa	38	?	?	?	?	?	?		?	Med, 25-75%, range
Klooker et al., 1999	H6410	16Aa	46	10	0-20				H2SO4		H2SO4	Gem±SE

Cynosurion cristati (habitattype H6120 Stroomdalgraslanden)

In dit onderzoek betrekken we ook voedselrijke graslanden van het Kamgras-verbond (16Bc Cynosurion cristati). Deze graslanden ontstaan op nutriëntenarme zendgronden door lichte bemesting of door verschraling vanuit sterk bemeste graslanden. Ze kunnen voor omvorming op landbouwgronden als een matig nutriëntenrijk natuurdoeltypen fungeren. Waterstandsregime is droog tot vochtig.

Organisch-stofgehalte

Het organische stofgehalte is vrij hoog voor het Kamgras-verbond, variërend van 4-19%, met een gemiddelde waarde rond 11%.

	Organische stof (%)	
Referentie	Kemmers	Sival et al., 2009
Minimum	4	7,4
25%	8,4	
Mediaan	9,9	
75%	15	
Maximum	18,7	18,5
Gemiddelde	11,01818	

Zuurgraad

Voor het Kamgras-verbond geven Runhaar et al. (2009) een pH-H2O range van 6,5-7,5, wat niet volledig overeen komt met de meetwaarden van de referenties. De Schrijver et al. (2103) en Kemmers geven lagere waarden beginnend bij 5,1, waar Sival et al. (2004) juist weer hogere waarden geven tot 7,9. De hogere waarden hangen samen met kalkbuffering.

Dat zien we ook terug in de pH-KCl waar de waarden voor het Kamgras-verbond tussen de 4,3 en 9,0 liggen, een veel groter bereik dan het bereik van Runhaar et al. van 6,1-7,5.

	pH-H2O				pH-KCl		
Referentie	Kemmers	Runhaar et al., 2009	De Schrijver et al., 2013	Sival et al., 2009	Kemmers	Runhaar et al., 2009	Van Diggelen et al., 2000
Minimum	5,3	6,5	5,1	6,8	4,3	6,1	4,8
25%	5,4				4,5		
Mediaan	5,5				4,7		
75%	5,55				4,8		
Maximum	5,9	7,5	7,4	7,9	5,3	7,5	9
Gemiddelde	5,5		5,9		4,7		

Stikstof

Voor kamgraslanden liggen de waarden tussen de 129 en 728 mmol/kg DG (Kemmers). Sival et al. (2009) geven een iets kleinere range, maar geven waarden die hier tussenin liggen van 186-521 mmol/kg DG. De hoge N-totaal gehalten hangen samen met een hoog organisch stofgehalte.

Van nitraat- en ammoniumgehalten zijn geen waarden bekend uit de literatuur voor kamgraslanden.

	Ntotaal (mmol/kg DG)		Ntotaal (mmol/l)
Referentie	Kemmers	Sival et al., 2009	Kemmers
Minimum	129	186	136
25%	245		199
Mediaan	321		249
75%	414		283
Maximum	728	521	430
Gemiddelde	369		264

Fosfaat

De meetranges in Kamgraslanden liggen hoog. Totaal fosforgehalten variëren van 6,3-82,6 mmol/kg DG, maar de meeste liggen echter tussen 10 en 30 mmol/kg DG.

Voor P_w geven Sival et al. (2009) waarden voor kamgraslanden van 44-55 µmol/l. Kemmers geeft echter veel hogere waarden van 100-640 µmol/l. De beschikbaarheid van fosfor lijkt veel hoger te zijn in kamgraslanden in vergelijking met de overige schrale natuurdoeltypen.

	Ptotaal (mmol/kg DG)			Ptotaal (mmol/l)	Pw (µmol/l)	
Referentie	Kemmers	De Schrijver et al., 2013	Sival et al., 2009	Kemmers	Kemmers	Sival et al., 2009
Minimum	6,34	9,36	7,43	6,12	98,7	44,4
25%	8,46			7,97	281,9	
Mediaan	11,98			9,22	324,2	
75%	20,44			12,56	426,4	
Maximum	25,37	82,59	20,99	15,73	641,3	55
Gemiddelde	14,29	29,25		10,08	361,3	

Referentie	Vegetatie		n		Laag	Organische stof		Extract				Notatie
	Habitat	Code	loca-tie	sample	cm	Tempe-ratuur (˚C)	Duur (uur)	pHKCl	N totaal	NH4	P totaal	
De Schrijver et al., 2013		16Bc	29	?	?						?	Gem (range)
Kemmers		16Bc	11	?	?	?	?	?	?		?	Med, 25-75%, range
Sival et al., 2009		16Bc	2	3	0-10	550	?		HNO2/ H2SO4 /Se		HNO2/ H2SO4 /Se	Range
Van Diggelen et al., 2000		16Bc										Streefrange

Aggenbach, C.J.S., M. Berg, J. Frouz, T. Hiemstra, L. Norda, J. Roymans, R. van Diggelen (2017). Evaluatie strategieën omgang met overmatige voedingsstoffen. OBN2017/214-NZ, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren. Driebergen.

Bijlage 2: Fosfaatbeschikbaarheid in bodemecosystemen

Fosfaatbeschikbaarheid in Bodemecosystemen: Chemisch evenwicht en dynamiek in extracties

Tjisse Hiemstra

Department of Soil Quality,
Soil chemistry and Chemical soil quality
Wageningen University, Wageningen, The Netherlands

vrijdag, oktober 20, 2017

1 Introductie

Fosfor (P) is één van de belangrijkste voedingsstoffen voor het leven op aarde. Het is belangrijk voor de bouw van bijvoorbeeld DNA en celmembranen. Ook speelt het een zeer belangrijke rol in de energiehuishouding (ADP/ATP) en kan van belang zijn voor de opbouw van een skelet.

Voor de productie van voedselgewassen is de vraag naar fosfor altijd hoog geweest. Aanvankelijk werd de bodem vruchtbaar gehouden door nutriënten in een cyclus te houden tussen akker en gebruikt, aangevuld met onder andere nutriëntverplaatsing van woeste grond en hooiland naar het landbouwecosysteem en toediening van stadscompost.

De eerste superfosfaatfabriek werd opgericht in 1843 door Sir Lawes, een wetenschapper werkzaam aan het beroemde bodemvruchtbaarheidsinstituut van Rothamsted. Hiermee is bemesting met kunstmest ingezet, waarmee de productie van voedsel zeer sterk verhoogd is. Met de grootschalige intensivering van de landbouw sinds de jaren '60 van de vorige eeuw (Fig.1) is de fosfaatbemesting in een versnelling geraakt door het gebruik van grote hoeveelheden dierlijke mest (Chardon et al., 2007). Dit fosfaat is afkomstig uit buitenlandse importen van diervoeders. Het illustreert de globalisering van nutriëntenstromen.

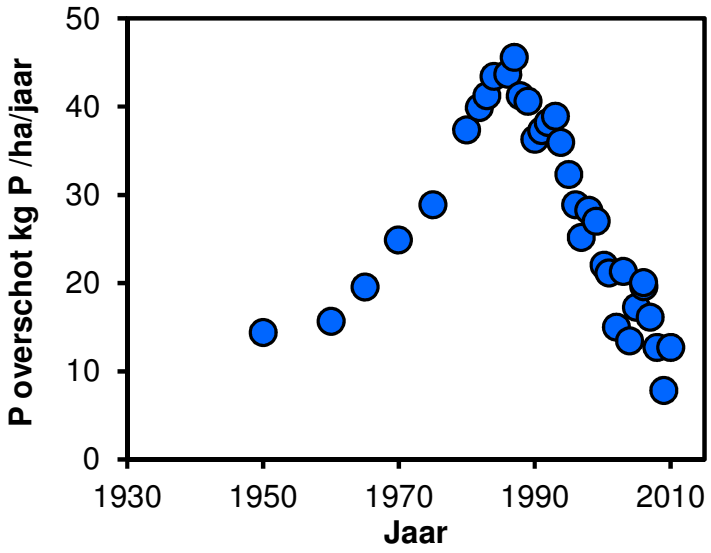


Fig.1 Historisch verloop van het jaarlijkse fosfaat overschot in Nederlandse landbouw. Gebaseerd op Chardon et al.(2007) en aanvullende CBS data.

Landbouwsystemen

Toegediend fosfor wordt meestal niet volledig opgenomen in het gewas. De beperkte efficiëntie leidt tot een jaarlijks P-overschot. Een historisch overzicht van het gemiddelde P overschot in de Nederlandse landbouw geeft aan dat in de periode van intensivering van de landbouw, de jaarlijkse overschotten sterk zijn toegenomen van ongeveer 15 kg tot meer dan 40 kg P ha^{-1} j^{-1} of meer. Lokaal kunnen deze overschotten nog veel hoger zijn. Cumulatief is het overschot over deze periode van 50 jaar ongeveer 1500 kg ha^{-1}. De Nederlandse landbouwbodem is dus rijk geworden aan fosfor (Schoumans and Chardon, 2015). Bij een hoge netto toevoeging van fosfor wordt de bovengrond P-verzadigd, in die zin dat het jaarlijkse overschot niet meer wordt vastgehouden. De bovengrond kan verzadigd raken met fosfaat en fosfaat verplaatst zich naar grotere diepte in het bodemprofiel en er kan uitspoeling plaatvinden. Een deel van het overschot kan het grond- en oppervlaktewater bereiken, leidend tot eutrofiering.

Natuurterreinen

In natuurterreinen zal de situatie anders zijn. In een natuurlijke situatie is er een natuurlijke biopomp die voortdurend nutriënten dieper uit het bodemprofiel via opname door de vegetatie toevoegt aan de bovengrond in de bovengrond waar het in geval van fosfaat kan worden vastgehouden door binding. Voorheen waren natuurterreinen meestal in gebruik als woeste grond. Uit de bovengrond van deze terreinen is vaak fosfaat verdwenen door afvoer van gras, strooisel, en plaggen ten behoeve van de landbouw. Daardoor zijn deze gronden verarmd aan nutriënten en is de P status laag. Bij een lage P status kunnen graslanden een grotere biodiversiteit ontwikkelen (Ceulemans et al., 2014; Janssens et al., 1998).

Fosfaatcyclus

Fosfor (P) kan in de bodem aanwezig zijn in verschillende vormen. Initieel is P onderdeel van gesteente (Fig. 2). Fosfor kan daarin aanwezig zijn als insluitingen van calciumfosfaatmineralen. Wanneer fosfor bij verwering vrijkomt, hecht het zich aan bodemdeeltjes. Zoals besproken zal worden in Sectie 3, wordt in de bodem een deel van het fosfaat gebonden aan externe oppervlakken van domeinen van bodemdeeltjes. Op lange termijn zijn de intern en extern gebonden fractie met elkaar in evenwicht, maar alleen de extern geboden fractie (P_{ex}) is beschikbaar voor opname (Fig.2).

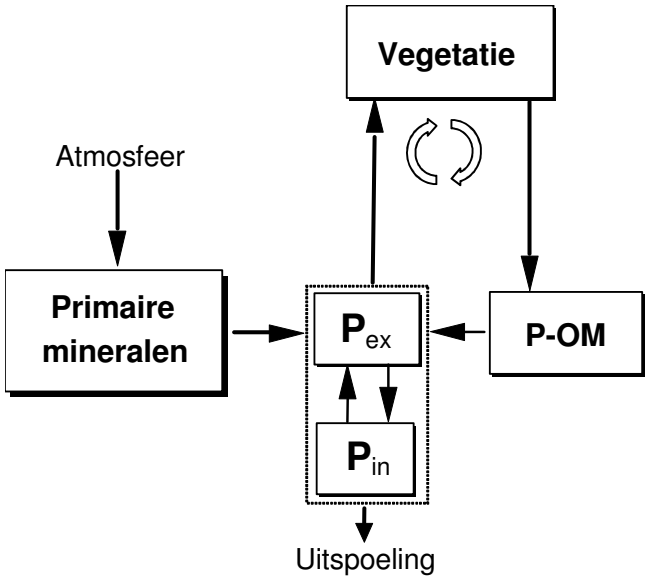


Fig.2 Een schematisch voorstelling van de fosforcyclus in een ecosysteem. Bij verwering van primaire mineralen komt anorganisch fosfaat (PO_4) vrij dat zich hecht aan externe en interne bodemoppervlakken. Uit de extern gebonden fractie (P_{ex}) wordt fosfaat opgenomen door de vegetatie. De plantenresten vormen na vertering de organische stoffractie van de bodem. Hierin blijft fosfor voor een langere of kortere tijd achter als organisch P (P-OM) om uiteindelijke vrij te komen in de vorm van anorganisch fosfaat dat zich bindt aan de minerale delen van de grond om opnieuw beschikbaar te zijn voor opname. De fosforcyclus wordt op langere termijn doorbroken door uitspoeling en door mogelijke aanvoer van nieuw fosfaat via neerslag van stofdeeltjes uit de atmosfeer.

In planten wordt anorganisch P onderdeel van de organische stof van planten. Bij vertering van de planten komt P vrij als opgelost ortho-fosfaat (PO_4) dat zich weer bindt aan de bodemdeeltjes of het blijft voor kortere of langere tijd achter, ingebouwd in organische stof. Uiteindelijk wordt bij mineralisatie dit organisch P omgezet anorganische fosfaat dat weer beschikbaar voor opname (Fig.2). De kringloop is gesloten.

In Nederlandse minerale bodems is anorganisch fosfaat de dominante fractie. In veel gevallen is de anorganische fractie groter dan 90%. In veengronden is de organisch gebonden fractie aanzienlijk. In een serie van Nederlandse veengronden is 13 % van de totale P voorraad niet extraheerbaar met oxalaat (Giesen and Geurts, 2006b). De anorganische fractie reguleert de fosfaatconcentratie in oplossing. Adsorptie en desorptie aan minerale oppervlakken is het belangrijkste regulerende proces voor de beschikbaarheid van fosfaat.

Oplosbaarheid fosfaatmineralen

Potentieel kan fosfaat secundaire mineralen vormen. Bij hoge pH kan de fosfaatconcentratie beperkt worden door vorming van calciumfosfaten en bij lage pH door de omzetting van ijzer en aluminium (hydr)oxiden in respectievelijk strengiet ($FePO_4.2H_2O$) en varisciet ($AlPO_4.2H_2O$). De pH afhankelijke evenwichtsconcentraties kunnen worden weergegeven in een oplosbaarheidsdiagram (Fig.3) dat geldt voor fosfaatmineralen als bulkmateriaal. Bij mineraalvorming zijn de deeltjes initieel zeer klein en dan is de oplosbaarheid veel hoger en de stabiliteit lager.

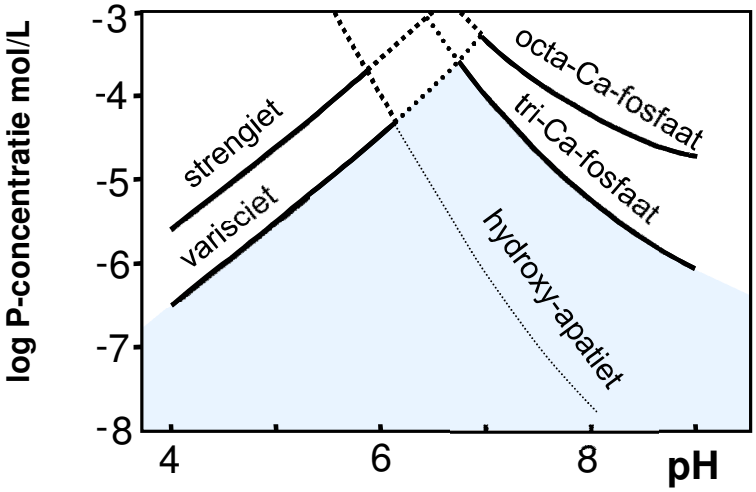


Fig.3 Berekende pH-afhankelijkheid van de evenwichtsconcentratie van enkele fosfaatmineralen. In de berekeningen wordt Al^{3+} en Fe^{3+} activiteit in oplossing gereguleerd door respectievelijk aluminium hydroxide ($Al(OH)_3(s)$ gibbsiet, $(Al^{3+})(OH)^3=10^{-34}$) en ijzerhydroxide $Fe(OH)_3(s)$, ferrihydriet $(Fe^{3+})(OH)^3 = 10^{-39.2}$ Het gebruikte oplosbaarheidsproduct is voor varisciet ($AlPO_4.2H_2O$) is $K_{so}=(Al^{3+})(PO_4^{3-})=10^{-22}$ en voor strengiet ($FePO_4.2H_2O$) is $K_{so}=(Fe^{3+})(PO_4^{3-})=10^{-22.6}$. De oplosbaarheid van calciumfosfaat is berekend voor een vrije Ca^{2+} concentratie van 1 mM. De stabiliteit van verschillende Ca-fosfaten hangt o.a. samen met de Ca/P verhouding in het mineraal. Voor de reeks met oplopende stabiliteit: octa-Ca-fosfaat ($Ca_8H_2(PO_4)_6.5H_2O$), tri-Ca-fosfaat ($Ca_3(PO_4)_2$) en hydroxy-apatiet ($Ca_5(PO_4)_3OH$) is de Ca/P ratio respectievelijk $1^1/_3$,$1^1/_2$ en $1\ ^2/_3$. Volgens de regel van Ostwald-Lussac worden bij oververzadiging van een oplossing goed oplosbare Ca fosfaten als eerste gevormd waarna transformatie naar stabielere vormen optreedt (Hiemstra, 2015). Hydroxy-apatiet (HAP) is het meest stabiele Ca-fosfaat mineraal (dunne gestippelde lijn) maar het is moeilijk te vormen en niet in staat de fosfaatconcentratie te reguleren. Wel kan HAP een bron van fosfaat zijn (primair mineraal) die bodemoppervlakken kan voorzien van fosfaat dat daarmee biobeschikbaar wordt (zie figuur 2).

Opzet en aanpak

Natuurbeheer en natuurbehoud vereist inzicht in de biobeschikbaarheid van fosfaat. Er is een groeiende vraag natuurherstel op locaties met voorheen landbouwkundig gebruik. Herinrichting en aaneensluiten van natuurgebieden is een uitdaging. Daarvoor is karakterisering van de P-toestand van de bodem nodig, inzicht in de relatie met biobeschikbaarheid en natuurdoeltypen.

Er zijn vele geavanceerder methoden om inzicht te winnen in het complexe gedrag van fosfaat in grond (Kruse et al., 2015) en er zijn veel verschillende bodemchemische analysemethoden (Wang et al., 2013) die de intentie hebben om de huidige P-status te karakteriseren en/of een maat te zijn voor de biobeschikbaarheid van P voor planten en gewassen. Voor vegetaties is biodiversiteit in relatie tot P beschikbaarheid van groot belang (Ceulemans et al., 2014; Chambers et al., 1999; Gilbert et al., 2009; Janssens et al., 1998; Sival et al., 2004). Elke methode heeft zijn eigen sterke en zwakke punten, maar er zijn grote verschillen in resultaten voor dezelfde bodem en die kunnen leiden tot tegengestelde conclusies. Er is daarom behoefte aan meer inzicht in de bodemchemische processen achter de bodemanalyse en hoe dit zich verhoudt tot opname van fosfor en beschikbaarheid van P voor natuurlijke vegetaties.

Om meer inzicht te krijgen in de biobeschikbaarheid van fosfaat voor planten zal eerst het dynamische proces van fosfaatopname worden geanalyseerd en beschreven. Vervolgens beschouwen de fosfaatbinding vanuit het perspectief van een chemisch evenwicht tussen poriewater of bodemoplossing en reactieve bodemoppervlakken. Het zal worden gevolgd door een analyse van de snelheid van vrijkomen van fosfaat uit de bodem. In het laatste onderdeel zullen verschillende bodemchemische analysemethoden geëvalueerd worden in relatie tot de geschetste bodemchemische processen die de beschikbaarheid van fosfaat reguleren.

2 Processen van biobeschikbaarheid van fosfaat

Voorraad in poriewater

Fosfor is één van de belangrijkste voedingsstoffen voor planten. Echter, de hoeveelheid fosfor in poriewater is heel gering, zelfs in een bemeste grond. In bovengronden ligt de concentratie van fosfaat (PO_4) meestal in het bereik van 1 - 30 µM of 0.03 - 1.0 mg P L^{-1} (Fig.4). Als een vegetatie een jaarlijks transpiratie heeft die overeenkomt met waterkolom van 300 mm (=300 L m^{-2}), dan is de overeenkomstige fosfaatflux naar de wortels slechts ~ 0.3 - 10 mmol P m^{-2} of 0.01 - 0.3 g P m^{-2} of 0.1 - 3 kg P ha^{-1}. Een jaarlijkse biomassaproductie van bijvoorbeeld tussen 3-9 ton ha^{-1} kan echter een P-opname vereisen van 10-30 kg P ha^{-1} (van der Salm et al., 2009). Deze berekeningen laten zien dat de vraag van de vegetatie niet door poriewater zelf kan worden geleverd met passief transport via de waterflux voor transpiratie. Er is vele malen meer nodig (10-100 maal) in het bijzonder als de fosfaatstatus laag is.

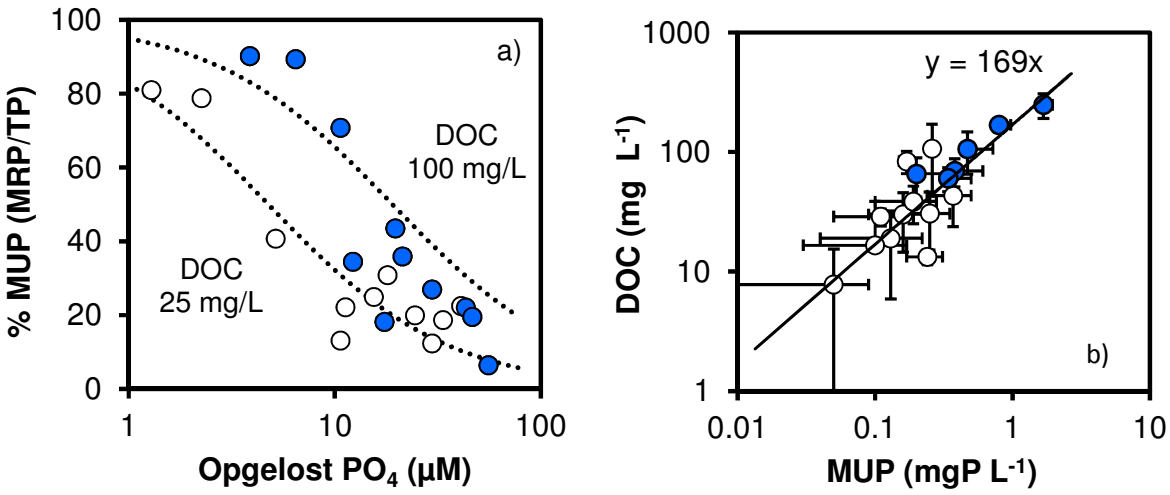


Fig.4 a) De fractie organisch-fosfor (MUP) als een functie van de concentratie aan anorganisch fosfaat (MRP)) en b) de relatie tussen opgelost organisch fosfaat en de concentratie aan opgelost koolstof (DOC). De open symbolen zijn voor veldvochtige monsters en de blauwe symbolen zijn voor bodemmonsters, gedroogd bij 40 °C. De gestippelde modellijnen in Fig.4a zijn berekend voor DOC concentraties van 25 en 100 mg/L bij een C/P verhouding van C/P=169.

Fosfaat (PO_4) in oplossing wordt gemeten met een blauwkleuringsreactie met molybdenum. Deze concentratie wordt wel aan geduid als molybdeen reactief fosfor (MRP). Deze concentratie kan verschillen van de totaalconcentratie (TP). Het verschil wordt aangeduid als MUP (molybdenum unreactive phosphorous). Bij toename van de PO_4 concentratie (MRP) daalt sterk met de fractie MUR (Fig.4a). Analyse van data van Koopmans et al. (2006) voor een reeks aan Nederlandse grondsoorten met grote variatie in zand/klei, organische stof en kalkgehalte laat zien dat MUP zeer sterk gecorreleerd is met de hoeveelheid DOC (mg/L) in het extract (Fig.4b). De helling van de lijn geeft aan de C/P verhouding (169 g/g). Indien uitgedrukt in molaire verhoudingen, is de C/P waarde ongeveer 250. Dit is een typische waarde die ook in plantmateriaal (bladeren) wordt gevonden. De data van Fig.4a laten zien dat in gronden met een lage P status organisch P in toenemende mate onderdeel kan zijn van het gehalte in poriewater, afhankelijk van de DOC concentratie. Drogen van gronden voorafgaande aan een analyse leidt over het algemeen tot een sterk hogere DOC concentratie (Koopmans et al., 2006). Eén van de verklaringen die hiervoor is gegeven is cellyse, waarbij de inhoud van de cel beschikbaar komt. Bij analyse van veldvochtige gronden wordt echter dezelfde C/P verhouding gevonden. Dit kan betekenen dat ook relatief verse organische stof van de bodem de bron kan zijn van MUR. De modellijnen in Fig.4a zijn berekende bij een vaste concentratie van DOC (25 en 100 mg L^{-1}) en een variabele hoeveelheid ortho-fosfaat in het poriewater bij de gemiddelde C/P ratio van 169.

De gegevens in figuur 4 laten ook zien dat in de veldvochtige bodemmonsters de gemeten orthofosfaat-concentratie lager is dan in de gedroogde bodemmonsters. Door drogen neemt de concentratie toe met een factor 1.34 (R^2=0.91) en kan verklaard worden door de hogere DOC concentraties (factor ~3). De organische moleculen, vrijgekomen in het droogproces, binden zich aan de bodem(hydr)oxide oppervlakken waarbij fosfaat door competitie vrijkomt zoals zal worden besproken in Sectie 4.

Een lage P status zal er toe leiden dat planten efficiënter omgaan met fosfaat. Het betekent dat P-opname en droge stofproductie een niet-lineair verband vertonen (Gilbert et al., 2009). Bij P-limitering in natuurlijke graslanden is het P-gehalte ~1.5 mg P/g droge stof terwijl bij een hogere P-beschikbaarheid het gehalte kan oplopen tot ~2.5 mg P/kg. In pot-experimenten met aardappelplanten op gronden met sterk oplopende P beschikbaarheid (van der Paauw 1971), is de toename van het P gehalte nog duidelijker, oplopend van ~1.5 tot ~7.5 mg P g^{-1} droge stof. De lage waarde is equivalent met een molaire C/P verhouding van ~ 800 terwijl bij het hoge gehalte

C/P~~ 170 mol mol^{-1}. De variatie in C/P gehalte betekent dat bij een lineair verband tussen opname en chemische beschikbaarheid er een niet-lineair verband met biomassaproductie zal bestaan. Ook zien we dat bij een lage P beschikbaarheid, i.e. een hoge C/P ratio, ook een toename van de N/P ratio (Sival et al., 2004) wat aangeeft dat P sterker limiterend wordt dan N. Een N/P verhouding groter dan 14.5 (g/g) wordt als een indicatie voor P of NP-colimitatie limitatie beschouwd (Olde-Venterink et al. 2003).

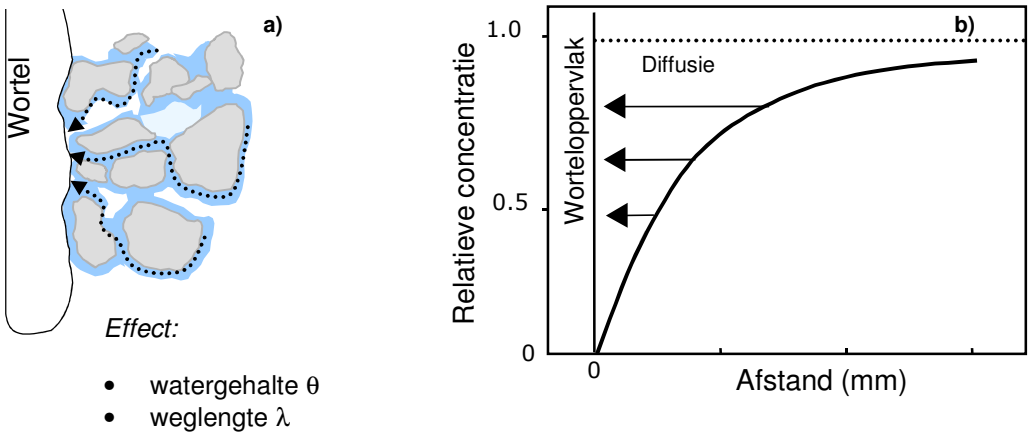


Fig.5 a) Zone rondom de plantenwortel waarin veranderingen optreden (rhizosfeer). Voedingsstoffen verplaatsen zich via een (mobiele) waterfilm, die de reisafstand (λ) laat toenemen. In de waterfilm treedt diffusie naar de plantenwortel op. De netto diffusie in de rhizosfeer is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid vocht (θ) en de reisafstand (λ).
Fig.5 b) Relatieve concentratie in poriewater als functie van de afstand van het oppervlak na diffusie gedurende meerdere dagen. Voor fosfaat is de zone met veranderingen over het algemeen heel erg dun met de typische orde van millimeter schaal. De horizontale gestippelde lijn geeft de initiële situatie weer (C/C_o=1). De lengte van de pijlen illustreert dat fosfaat over een steeds groter wordende afstand moet worden aangevoerd.

Actieve opname

Planten zullen fosfaat op actieve wijze opnemen uit de zogenaamde rhizosfeer. De rhizosfeer is een klein deel van de grond rondom de wortels die wordt beïnvloed door de plant. Voor fosfaat is de dikte van de rhizosfeer typisch in de orde van ten hoogste één of enkele millimeters (Hinsinger, 1998). Actieve opname van fosfaat door de wortel zal de concentratie van fosfaat in poriewater nabij het worteloppervlak sterk verlagen. Deze actieve opname zal een diffusie van

fosfaat opwekken waarmee fosfaat kan worden aangevoerd naar het wortelоppervlak over grotere afstanden. Het actieve proces van opname creëert een concentratiegradiënt. Dit proces wordt geïllustreerd in figuur 5.

P-beperking door diffusie in de rhizosfeer

In figuur 5a) is de rhizosfeer weergegeven met daarin diffusie via een waterfilm rondom de korrels naar een wortelоppervlak. Door de aanwezigheid van gronddeeltjes en lucht is de diffusie kleiner dan in zuiver water. De overall flux is recht evenredig met het volumetrisch watergehalte (θ). Bovendien kunnen de fosfaationen niet in een rechte lijn bewegen, waardoor er wegverlenging (λ) optreedt. Deze wegverlening is op zich ook weer vochtafhankelijk. Fosfaatopname is dus ook gekoppeld aan fysische bodemkenmerken, zoals bodemstructuur en de vochtkarakteristiek.

Door actieve opname van voedingsstoffen aan het wortelоppervlak ontstaat er een typisch concentratiepatroon zoals weergegeven in figuur 5b). Dit patroon wordt bepaald door diffusie van fosfaat naar het wortelоppervlak waar een lage concentratie wordt gehandhaafd door actieve opname. De figuur laat zien dat fosfaat aanwezig in hogere concentraties zich op grotere afstand van het wortelоppervlak bevindt. Initieel is de concentratiegradiënt (i.e. helling van de curve) groot en dan is de diffusie snel.

De concentratiegradiënt (helling van de curve) neemt snel af met de tijd (t) en daarmee de diffusie. De totale hoeveelheid fosfaat die getransporteerd kan worden is recht evenredig met wortel van de diffusietijd (d.w.z. $\sqrt{t}$). Dit wortelverband laat zien dat de fosfaataanvoer snel afneemt in de tijd. De hoeveelheid fosfaat die opgenomen kan worden gedurende de eerste dag is gelijk aan de fosfaatopname in de volgende 3 dagen, en vervolgens in de daaropvolgende 5 dagen (t =1, 4, 9 dag).

Fysiologisch kan een wortel slechts gedurende een beperkte tijdsperiode (mogelijke tijdschaal enkele dagen) fosfaat opnemen op één bepaalde plaats. Op die plek moet de bodem in een korte tijd het beschikbare fosfaat leveren. Dit geldt ook voor de hypen van schimmels. Bij P limitering wordt de biomassaproductie bepaald door de snelheid van reactie en de grootte van diffusie van fosfaat in de rhizosfeer.

Afgifte van bodemfosfaat

De flux van fosfaat in de rhizosfeer is gerelateerd aan de helling van de concentratie met de afstand. Zoals bovengemeld, is dit concentratieprofiel tijdsafhankelijk. Met toename van de tijd zal de helling verminderen en moet fosfaat effectief over een grotere afstand moeten worden getransporteerd. Het tempo van de daling van de flux is het hoogst als er alleen fosfaat in de waterfase aanwezig is. In een bodem zal afname van de concentratie echter leiden tot het vrijgeven van fosfaat van de gronddeeltjes. Dit wordt buffering van de fosfaatconcentratie genoemd. Als de buffercapaciteit hoog, is zal de concentratie in het poriewater veel minder sterk dalen en daardoor blijft de concentratiegradiënt hoger (steile helling) met als gevolg een veel sterkere diffusieflux naar het worteloppervlak. Als twee bodems initieel dezelfde evenwichtsconcentraties hebben, maar één van de bodems heeft een lage buffercapaciteit (weinig reactieve bodemdeeltjes), dan zal er in die bodem een veel grotere daling van de concentratiegradiënt optreden en bijgevolg zal er een lagere opname zijn ondanks het feit dat de evenwichtsconcentraties op enige afstand van het worteloppervlak nog gelijk zijn. Het laat zien dat naast de initiële evenwichtsconcentratie vooral ook het vermogen tot afgifte door de bodemdeeltjes een zeer grote rol speelt. Vooral dat maakt een bodem vruchtbaar. De relatie tussen deze twee hoofdvariabelen (concentratie en gebonden voorraad) is de zogenaamde adsorptie-isotherm van grond. De adsorptie-isotherm drukt uit hoeveel fosfaat aan een grond gebonden kan zijn bij een gegeven evenwichtsconcentratie. Omdat diffusie een dynamisch proces is, kan naast evenwichtsinstellingen, ook de reactiesnelheid een belangrijke rol spelen in de vorming van het concentratieprofiel in de rhizosfeer, zoals we later zullen bespreken.

Biologische factoren

De biobeschikbaarheid is niet alleen gerelateerd aan bodemchemische en bodemfysische factoren. Ook biologische factoren spelen een belangrijke rol, zoals het worteloppervlak en architectuur, de samenwerking met micro-organismen, en de wortelactiviteit (Vance et al., 2003). Zoals hierboven beschreven kan de snelheid van P-opname beperkt zijn door de diffusiesnelheid in de rhizosfeer. De opname bij dit proces wordt uitgedrukt per eenheid van oppervlak voor nutriëntopname (mol m^{-2}). Planten in een vegetatie kunnen daarop zijn aangepast. Belangrijke

factoren zijn hierbij verschillen in bewortelingspatroon, worteldikte, en de ontwikkeling van wortelharen (Bates and Lynch, 2001). Hiermee wordt de een groter deel van de bodem benut voor P onttrekking.

Mycorrhiza

Fosfaatopname kan bij bepaalde platensoorten ook worden vergroot door samenwerking met schimmels in de rhizosfeer die de grond rondom de wortel koloniseert. Evenals wortels, kunnen schimmels actief fosfaat onttrekken. De totale zone van P onttrekking kan daarmee zeer sterk worden vergroot en de opname kan wel met een factor 3 tot 5 stijgen (Li et al., 1991). Mycorrhiza kan schimmeldraden vormen met een lengte L van meerdere km's per liter grond (Li et al., 1991). Typische waarden die gevonden kunnen worden zijn 2-20 km per liter grond. Ter vergelijking, grassen kunnen een wortellengte ontwikkelen in de orde van bijvoorbeeld slechts 2-20 m per liter grond, dat wil zeggen, er is een verschil van een factor 1000. In plaats van onttrekking op een millimeter schaal door alleen de wortel, kan bij samenwerking met mycorrhiza fosfaat worden onttrokken op een centimeter schaal (Li et al., 1991). De schimmeldraden zijn zeer dun (~5-10 µm) waardoor de draden per eenheid massa (i.e. koolstof) een zeer groot oppervlak vormen waarmee fosfaat kan worden opgenomen en vervoerd.

Men kan de relatie berekenen tussen de intensiteit van de vorming van schimmeldraden, uitgedrukt in een karakteristieke lengte (L) van de schimmeldraden, en de benuttingsgraad van de grond (V_r/V_0) voor een gegeven dikte van de cilindrische zone (r) van fosfaatonttrekking.

$$V_r/V_0 \sim \pi r^2 L \qquad [1]$$

Bij L = 20 10^3 m per liter grond (20 km/dm^3 of 20 10^4 dm dm^{-3}), wordt 60 % van de grond beïnvloed door de schimmel bij een cilindrische onttrekkingszone van slechts r = 0.1 mm (10^{-3} dm). Bij een grotere zone van onttrekking rondom een hyphe kan een grond zelfs volledig worden benut bij een geringere lengte L. Zo is volledige benutting van het grond volume (V/V_o = 1) mogelijk bij een 10 maal kleinere lengte van de hyphen (L = 2 km /liter grond) en een 4 maal grotere onttrekkingszone (r = 0.4 mm).

Aanpassingen zoals haarwortels, clusterwortels en schimmeldraden zijn gebaseerd op relatief koolstofarme investeringen door organismen waardoor het oppervlak voor opname van nutriënten toeneemt. In nutriëntrijke en bemeste gronden is deze symbiose met mycorrhiza van geringe betekenis. Symbiose treedt voornamelijk op bij gebrek aan nutriënten zoals stikstof en fosfaat (Hinsinger, 2001). Er is dan een relatief overschot aan fotosynthese producten, o.a. suikers.

Exudaten

Wortels van specifieke planten kunnen ook actief de fosfaatconcentraties in de rhizosfeer veranderen (Hinsinger, 2001; Vance et al., 2003). In (sub) neutrale gronden kan de pH worden verlaagd door lokale verhoging van de CO_2 spanning. Planten kunnen sterkere, organische zuren of carboxylaten zoals citroenzuur (citraat), oxalaat, of appelzuur (malaat), uitscheiden en/of H^+ die lokaal de pH waarde kan verlagen. Ook sommige schimmels (ecto-mycorrhiza) kunnen dit. Deze organische zuren kunnen in de rhizosfeer fosfaat vrijmaken van de aanwezige bodemdeeltjes door een competitieve binding aan deze deeltjes. Het fosfaat zal worden gedesorbeerd waardoor de concentratie in de rhizosfeer sterk kan toenemen en meer fosfaat kan worden opgenomen per tijdseenheid. Daarnaast kunnen sommige organische zuren de calciumconcentratie verlagen door complexering of door precipitatie als vaste stof, bijvoorbeeld calcium-oxalaat. Het verlagen van de vrije calciumconcentratie heeft een belangrijke invloed op de fosfaatvastlegging. Calciumionen die samen met het fosfaat aan de bodemdeeltjes binden, worden door deze verlaging van de calciumconcentratie van de concentratie van het oppervlak verwijderd, waardoor ook fosfaat van het oppervlak vrijkomt. De reden is dat calcium en fosfaat een positieve wisselwerking hebben bij binding aan bodemdeeltjes. Er is sprake van zogenaamde coöperatieve binding. Indien het poriewater rijk is aan calciumionen, kan er ophoping plaatsvinden in de rhizosfeer doordat niet al het calcium kan worden opgenomen dat wordt aangevoerd met de waterflux voor verdamping. In dat geval kan dit de fosfaatbeschikbaarheid onderdrukken. Ook kunnen sommige planten fosfatase en fytase uitscheiden (Landeweert et al., 2001). Zulke enzymen bevorderen de omzetting van organisch fosfaat naar anorganisch fosfaat, waardoor het beschikbaar wordt.

Samenvatting

Het bovenstaande laat zien dat de hoeveelheid fosfaat in poriewater te laag is om een vegetatie te voorzien van fosfaat. Er is een actieve opname nodig, die een diffusiegradiënt creëert in de rhizosfeer. Deze gradiënt en bijbehorende flux kunnen enige tijd hoog blijven in gronden waar fosfaat kan worden na geleverd door afgifte vanaf de bodemdeeltjes. De biobeschikbaarheid van fosfaat is gerelateerd aan de fosfaatbuffercapaciteit van de bodemdeeltjes en de snelheid van fosfaatafgifte.

3 Reactieve bodemdeeltjes: oxide met organische stof

Nanodeeltjes in de bodem

Organische stof en metaal (hydr)oxide deeltjes zijn in de bodem sterk aan elkaar gerelateerd (Hiemstra et al., 2010a). Bij bodemvorming worden door verwering ijzer (Fe) en aluminium (Al) (hydr)oxiden geproduceerd. In de bovengrond blijven deze deeltjes zeer klein waardoor deze deeltjes een zeer groot oppervlak hebben per gram oxide, het zogenaamd specifiek oppervlak. Reactieve Fe en Al (hydr)oxiden kunnen per gram een oppervlak hebben tussen bijvoorbeeld 200-1200 m^2. Dan zijn de metaal(hydr)oxide deeltjes zijn zeer klein. De diameter ligt tussen circa 1-10 nm (nm = 10^{-9} m), d.w.z. de deeltjes kunnen nanodeeltjes worden genoemd.

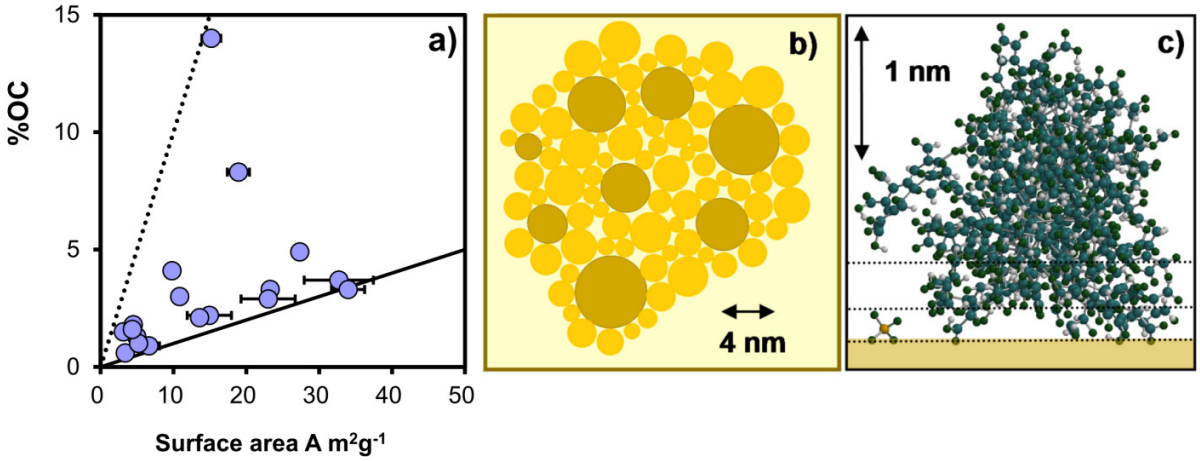


Fig.6 a) Reactief oxide oppervlak in de bovengrond van Nederlandse landbouwgronden in relatie met de aanwezigheid van organisch koolstof (OC). Bodems met een hoger oppervlak bevatten meer humus en vice versa. De helling van de doorgetrokken lijn is equivalent met 1 mg organisch koolstof (OC) per m^2. In de bodem, kan dit 0.3-3% OC vertegenwoordigen. Extra organisch materiaal kan aanwezig zijn, wat tot een hoger % OC zal leiden bij hetzelfde bodem oxideoppervlak. De gestippelde lijn is voor de aanwezigheid van 10 keer meer organische stof.
Fig.6 b) Nanodomein bestaande uit een collectie van harde (oxide) nanodeeltjes omgeven door zachte organische stofdeeltjes, weergegeven als respectievelijk donkere en respectievelijk lichte bollen. De organische stof tussen de oxidedeeltjes kan ook als een poreuze waterige gel worden beschouwd.
Fig.6 c) Een positief geladen Fe en Al (hydr) oxide oppervlak bindt negatief geladen moleculen van organische stof, maar ook negatief geladen fosfaationen (links). Tussen beide zal er competitie zijn voor binding aan het positief geladen oxide-oppervlak (Hiemstra et al., 2010a).

Reactief bodemoppervlak

Een groot specifiek oppervlak (m^2/g oxide) impliceert dat slechts een kleine hoeveelheid oxidedeeltjes nodig is (g oxide / g grond) om een aanzienlijk reactief bodemoppervlak (m^2/g grond) te maken. Recent is gevonden dat de bovengronden van Nederlandse bodems een typisch fosfaat-reactief oppervlak hebben van 3-30 m^2 per gram grond (Fig.6a). Deze grootte lijkt heel bescheiden, maar het vertegenwoordigt een oxideoppervlak van 1.000.000 m^2 (of meer) per m^2 bodem.

Mineraal-geassocieerde organische koolstof

Uit analyse van het reactief bodemoppervlak (A) van een reeks bovengronden blijkt dat het reactief oppervlak sterk gecorreleerd kan zijn met het gehalte aan organische stof (Fig.6a). Gronden met een groter oxide oppervlak hebben ook een hoger gehalte aan organische koolstof en *vice versa*. De hoeveelheid humus die geassocieerd is met minerale delen is ongeveer 1 ± 0.5 mg OC m^{-2}, weergegeven door de helling van de lijn in Fig.6a.

Fe en Al (hydr) oxiden zijn omringd door of ingebed in een matrix van organische stof (Fig.6b). Een belading van het oppervlak met 1 ± 0.5 mg OC m^{-2} is equivalent met een gemiddelde schijnbare laagdikte van 1 nm (10^{-9} m). De ruimte tussen de oxidedeeltjes is typisch van de grootte van humuszuren (~3 nm) en fulvozuren (~1 nm). De precieze grootte van de nano-domeinen, bestaande uit oxide-deeltjes en organische stof moleculen (Fig.6b), is onbekend maar de grootte is mogelijk van een schaal van een micrometer (µm) of minder (Fig.7) en daarmee veel kleiner dan de diameter van bijvoorbeeld schimmeldraden (5-10 µm). Hyphen penetreren in klassieke bodemaggregaten (µm – mm) gevormd door deeltjes uit de klei-, silt-, en zandfractie (Fig.7). De organo-oxide nano-domeinen zijn veel kleiner. Het zijn deze nano-domeinen die de snelheid van afgiften van fosfaat bepalen. Door de kleine schaal van de poriën tussen de oxide deeltjes blijft de tussenruimte, gevuld met daarin de organische stof moleculen. Fosfaat gebonden aan de externe oppervlakken van de nano-domeinen is direct beschikbaar in tegenstelling tot de fractie van intern gebonden fosfaat die kinetisch sterk gelimiteerd. Deze fractie is gebonden aan het oxide oppervlak in een waterrijke matrix van organische stof met flexibele organische moleculen (Fig.6c). De snelheid van verplaatsen in deze matrix is relatief laag.

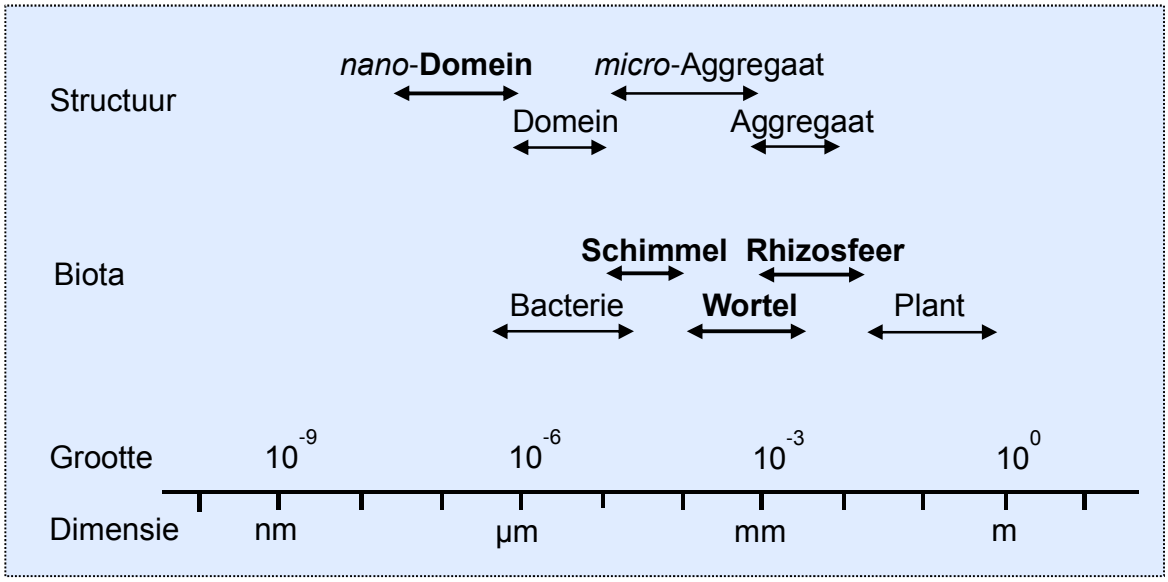


Fig.7. Lengteschalen behorende bij bodemstructuur en bodemleven. De snelheid van fosfaatafgifte van een bodem wordt bepaald door de grootte van de nano-domeinen bestaande uit organische stof en metaal (hydr)oxide. De snel-beschikbare fractie wordt bepaald door de hoeveelheid extern oppervlak van de (nano)domeinen en de beladingsgraad met fosfaat die gestuurd wordt door de condities van het poriewater, zoals de fosfaat- en calciumconcentratie en de pH waarde.

Fosfaattransportlimitering

De organische stof matrix tussen de oxidedeeltjes is waterverzadigd door de geringe groot de poriën en hierin zijn ionen aanwezig. De organische stof is negatief geladen. Deze organische stof kan beschouwd worden als een gel of een zogenaamde Donnan fase. Positief geladen ionen (kationen) worden aangetrokken door deze gelmatrix van organische stof maar negatief geladen ionen (anionen) worden uitgestoten (Fig.8). In dit laatste geval, is er sprake van exclusie van de negatief geladen ionen door de negatief geladen organische stof. Daarom zal de concentratie aan opgelost fosfaat daar worden onderdrukt. De concentratie aan anionen is in de Donnan waterfase lager dan in de vrije oplossing (Fig.8).

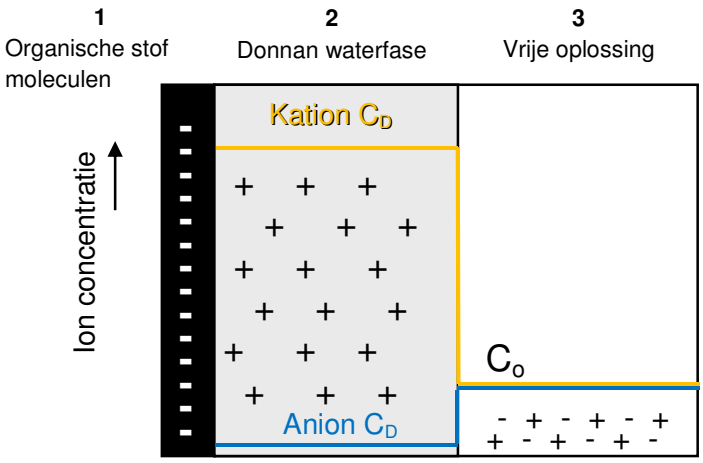


Fig.8 Schematische weergave van een Donnan model met drie compartimenten, i.e. negatief geladen organische stof, een Donnan waterfase met daarin de neutraliserende tegenlading, en de vrije bodemoplossing met evenveel kat- en anionen. De negatieve molecuullading van organische stof wordt gecompenseerd door ionen in de Donnan waterfase. Deze ionen zijn uitwisselbaar en onderdeel van de kationen uitwisselcapaciteit van grond (Cation Exchange Capacity, CEC). De lokale concentratie in de Donnan waterfase (C_D) is in evenwicht met de concentratie in de vrije oplossing. Beide concentraties verschillen doordat de Ca^{2+} ionen in de Donnan fase worden aangetrokken door de negatief geladen organische stof. Omgekeerd worden negatief geladen ionen zoals $H_2PO_4^-$ en HPO_4^{2-} sterk uitgesloten. Dit noemt men anionexclusie. De anionconcentratie is daarom verlaagd.

De mate waarin de concentratie is verlaagd ten opzichte van de concentratie in poriewater hangt af van totale zoutsterkte van die bodemoplossing. Wanneer organische stof wordt opgevat al een gelmatrix kan de $H_2PO_4^-$(aq) en HPO_4^{2-}(aq) concentratie volgens het zogenaamde NICA-Donnan model verlaagd. Deze verlaging varieert met het zoutgehalte.

De fosfaatconcentratie in de Donnan fase tussen de oxidedeeltjes is meer dan een factor 10 lager ten opzichte van de vrije bodemoplossing bij een totale zoutsterkte van 1 mM Ca^{2+} of Mg^{2+} (Fig.9). Bij een bodemextractie met water zal de zoutconcentratie sterk worden verlaagd en kan het concentratieverschil oplopen tot wel meer dan een factor 50 en in combinatie met wegverlenging zal de effectieve interne diffusiesnelheid kunnen dalen met mogelijk een factor 100. Hierdoor zal het transport door het nano-domein sterk gelimiteerd worden. Fosfaat kan ogenschijnlijk gefixeerd zijn.

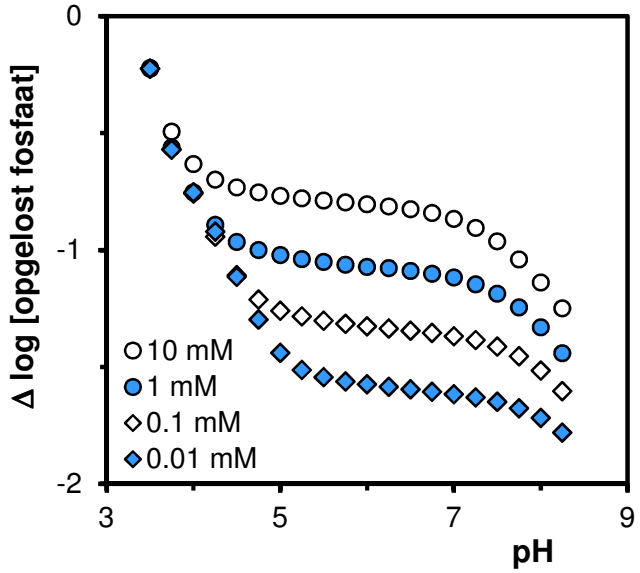


Fig.9. Berekende verlaging van de fosfaatconcentratie in de Donnan waterfase van organische stof als functie van pH volgens het NICA-Donnan model (Hiemstra and van Riemsdijk, 2006; Kinniburgh et al., 1999). Bij een zoutconcentratie van 1 mM Ca^{2+} in de vrije bodemoplossing wordt de concentratie met ongeveer een factor 10 onderdrukt in het pH traject 5-7. Boven pH=7 is dit effect versterkt doordat fosfaat daar vooral voorkomt als HPO_4^{2-}. Dit divalente anion is gevoeliger voor het negatieve elektrisch veld. De verlaging van de fosfaatconcentratie bemoeilijkt een snel transport van fosfaat in de nano-domeinen (Fig.6b) na desorptie van het intern gelegen oxide oppervlak. Bij waterextracties van een bodem wordt de zoutconcentratie sterk verlaagd (en de pH verhoogd) en kan de fosfaatconcentratie in de Donnan fase worden verlaagd met wel een factor 50 of meer. Hierdoor wordt de levering van intern gebonden fosfaat kinetisch zeer sterk gelimiteerd.

Intern en extern gebonden fosfaat

Bij de vorming van organo-oxide nano-domeinen is een belangrijke deel van de adsorptiecapaciteit aanwezig op de interne oppervlakken, terwijl de transportmogelijkheden via diffusie van binnen naar buiten en vice versa beperkt zijn. Hierdoor zullen evenwichtsinstelling relatief traag verlopen. Om deze reden moeten we onderscheid maken tussen extern en intern gebonden fosfaat omdat de tijdschaal van fosfaatopname (dag-week) anders is dan die van evenwichtsinstelling (maand-jaar). Om deze reden is dit onderscheid opgenomen in het formuleren van de fosfaatcyclus van figuur 2.

4 Fosfaatadsorptie aan minerale oppervlakken

Reactieve oppervlakken

In gronden zonder hoge fosfaatstatus wordt de fosfaatconcentratie in de meeste gevallen gereguleerd door adsorptie en desorptie aan ijzer en aluminium (hydr)oxide oppervlakken. Dit fosfaat is snel beschikbaar voor opname. Ook calciet ($CaCO_3$,s) oppervlaken hebben adsorptie eigenschappen (So et al., 2011).

Data van Koopmans et al.(2006) laten zien dat snelle fosfaatdesorptie in kalkrijke gronden niet wezenlijk verschilt van het gedrag in kalkloze gronden (zie Sectie 6.2). Frossard et al. (1992) hebben laten zien dat de fosfaatbuffercapaciteit van Franse gronden correleert met het oxide- en kleigehalte. Geen verband met de aanwezigheid van kalk ($CaCO_3$) werd gevonden. Een verklaring kan zijn dat in kalkrijke bodems calciumcarbonaat een relatief klein reactief oppervlak heeft. De bijdrage van kalk varieert van 2 ± 1 m^2 g^{-1} grond (del Campillo et al., 1992) tot 6 ± 2 m^2 g^{-1} grond (Holford and Mattingly, 1975), terwijl de fractie aan Fe en Al (hydr) oxiden een reactief oppervlak een bijdrage heeft in de range ~ 3-30 m^2 g^{-1} (Hiemstra et al., 2010a). Kalkoppervlakken zullen daarom alleen belangrijk zijn in gronden met veel kalk en weinig extraheerbaar Fe en Al (hydr)oxiden. Omdat de bijdrage van Fe en Al (hydr)oxide meestal dominant is, bespreken we als eerste het adsorptiegedrag van deze mineralen.

4.1 Grensvlakchemisch model voor Fe en Al (hydr)oxide

Introductie

Fosfaationen hebben een grote voorkeur voor binding aan aluminium (Al) en ijzer (Fe) oxide/hydroxiden. Fosfaat reageert daarbij met oppervlaktegroepen en er ontstaat een sterke metaalion-fosfaatbinding.

Lading oxidedeeltjes

We nemen Fe (hydr)oxide als bijvoorbeeld. De samenstelling van het reactief oppervlak kan worden weergegeven met oppervlaktegroepen zoals $\equiv FeOH^{-1/2}$ en $\equiv FeOH_2^{+1/2}$. Een $\equiv FeOH^{-1/2}$

oppervlaktegroep is niet volledig geneutraliseerd en heeft een netto lading van -1/2. Door binding van een extra H^+ ontstaat er een $\equiv FeOH_2^{+1/2}$ groep aan het oppervlak. Er is nu sprake van overcompensatie van lading. De pH-afhankelijke reactie tussen beide type van groepen kan worden geformuleerd met een zuur-base reactie (Hiemstra et al., 2013; Hiemstra et al., 1996b):

$$\equiv FeOH^{-\frac{1}{2}} + H^+(aq) \Leftrightarrow \equiv FeOH_2^{+\frac{1}{2}} \qquad [2]$$

In het normale pH traject is er een mengsel van oppervlaktegroepen, waarbij er meer $\equiv FeOH_2^{+1/2}$ dan $\equiv FeOH^{-1/2}$ aanwezig zijn. Deze dominantie van $\equiv FeOH_2^{+1/2}$ over $\equiv FeOH^{-1/2}$ leidt tot een netto positieve lading op ijzer(hydr)oxide oppervlakken bij een pH < 8-9.

Adsorptiereactie van fosfaat

Positieve oppervlaktelading zal de binding van fosfaationen sterk stimuleren. De belangrijkste bindingsreactie van fosfaat kan worden geschreven als een reactie met $\equiv FeOH_2^{+1/2}$ groepen:

$$2 \equiv FeOH_2^{+\frac{1}{2}} + 2H^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) \Leftrightarrow \equiv (FeO)_2PO_2^0 + 2\,H_2O(l) \qquad [3]$$

Deze fosfaatadsorptiereactie illustreert dat

a) twee oppervlaktegroepen met één fosfaation reageren (vorming van een zogenaamd bidentaat oppervlaktecomplex),
b) elke oppervlaktegroep één H_2O vrij maakt, bekend als liganduitwisseling,
c) er een chemische binding wordt gevormd tussen het geadsorbeerde fosfaation en het ijzer in de vaste stof,
d) er H^+ ionen betrokken zijn bij de reactie, wat bijdraagt aan de pH afhankelijkheid van de bindingsreactie en,
e) er ladingsverandering optreedt door fosfaatadsorptie. Het ijzer (hydr)oxide deeltje kan van lading veranderen afhankelijk van de mate van belading van het positieve oppervlak met negatief geladen fosfaationen. Ook speelt de initiële overmaat aan $\equiv FeOH_2^{+1/2}$ groepen op het oppervlak ten opzichte van $\equiv FeOH^{-1/2}$ een rol en daarmee de pH.

De verandering van deeltjeslading door adsorptie van fosfaat is erg belangrijk voor het begrijpen van de adsorptie van deze ionen. Verandering van lading leidt tot verandering in elektrostatische krachten die inwerken op het gebonden fosfaat. Voor fosfaat zijn de elektrostatische krachten aanvankelijk sterk aantrekkend maar bij toename van de belading met negatief geladen ionen zullen deze krachten verzwakken, en kunnen zelfs afstotend worden. Elektrostatische krachten zijn daarmee van grote invloed op de sterkte van de chemische binding tussen ijzer en fosfaat. De bindings-"constante" van de reactie zal daarom sterk variëren en is afhankelijk van de deeltjeslading en daarmee van de condities in het poriewater, zoals o.a. de zuurgraad (pH) en de fosfaatconcentratie. Met rekenmodellen kan men de variabele elektrostatische energie vaststellen en daarmee de totale adsorptie-energie en bindingsconstante berekenen. Het meest realistische en tevens succesvolle oppervlaktecomplexeringsmodel is het "Charge Distribution" (CD) model (Hiemstra and Van Riemsdijk, 1996a). Het "Charge Distribution" (CD) model zal hier worden toegepast.

Interactie met organische stof

Metaal (hydr)oxide oppervlakken reageren met anionen zoals PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, HCO_3^- en anderen. Ook organische stof kan binden door middel van een reactie met functionele groepen (~$RCOO^-$ en ~ROH) van humus- en fulvozuren. De reactie van carboxylgroepen met oppervlaktegroepen kan worden geformuleerd als (Filius et al., 2000):

$$1 \equiv \mathrm{FeOH}^{-\frac{1}{2}} + \mathrm{H}^{+}(\mathrm{aq}) + {\sim}\mathrm{RCOO}^{-} \Leftrightarrow \equiv \mathrm{FeOCOR}^{-\frac{1}{2}} + \mathrm{H_2O\ (l)} \qquad [4]$$

Er worden "innersphere" complexen gevormd waarbij per ~$RCOO^-$ één watermolecuul wordt uitgewisseld. Daarnaast kunnen de functionele groepen van organische stof zogenaamde outersphere complexen vormen aan de oppervlakken van metaal (hydr) oxiden (Hiemstra et al., 2013). Beide complexen introduceren negatieve lading in het grensvlak en er treedt concurrentie op met fosfaationen. Deze competitie wordt sterk gedreven door elektrostatische krachten.

Binding calciumionen

Oppervlaktegroepen van metaal(hydr)oxiden reageren niet alleen met fosfaat en organische stof. Een ander belangrijk ion in poriewater, dat reageert met ijzeroxideoppervlakken, is het calciumion (Ca^{2+}). Calcium ionen reageren met negatief geladen oppervlaktegroepen ($\equiv FeOH^{-1/2}$) waarmee het een chemische binding kan vormen. De reactie voor de vorming van een zogenaamd "innersphere" complex kan worden geformuleerd als (Rietra et al., 2001a):

$$\equiv FeOH^{-\frac{1}{2}} + Ca^{2+}(aq) \Leftrightarrow \equiv FeOHCa^{\frac{3}{2}+} \quad [5]$$

Bovendien kunnen calciumionen binden op een zwakkere manier, namelijk als $\equiv FeOH^{-1/2} - Ca^{2+}$, waarbij het gebonden calciumion gehydrateerd blijft. Daardoor blijft het op enige afstand van het oppervlak en daarom staat deze bindingsvorm bekend als "outersphere" complex. Beide oppervlaktecomplexen, $\equiv FeOHCa^{3/2+}$ en $\equiv FeOH^{-1/2} - Ca^{2+}$, voegen positieve lading toe aan het Fe oxidedeeltje, wat gunstig is voor de binding van negatieve ionen zoals fosfaat. De binding van calciumionen is gunstiger bij hoge pH, omdat Ca^{2+} reageert met negatief geladen $\equiv FeOH^{-1/2}$ oppervlaktegroepen, en die groepen worden belangrijker bij hoge pH volgens evenwicht [2]. De invloed van calcium op de fosfaatbinding staat los van de vorming van calciumfosfaatmineralen of precipitatie bij hoge pH. Het is een ander proces.

Samenvatting

Lading, ladingsverandering en ladingsverdeling zijn kernbegrippen waarmee het adsorptiegedrag van ionen aan geladen deeltjes kan worden begrepen. Daarom moet dit in realistische rekenmodellen worden meegenomen.

Binding van H^+ aan oxide-oppervlakken maken deze oppervlakken positief in het normale pH traject van de bodem. Deze positieve lading bevordert de chemische binding van negatief geladen ionen zoals fosfaat. Bij toenemende binding vindt accumulatie van negatieve lading plaats in het grensvlak en dat remt verdere binding af. Dit geldt ook voor negatief geladen organische stofmoleculen. Bij binding van organische stof zal de negatieve lading van de functionele groepen ($RCOO^-$) leiden tot zekere afstoting van reeds gebonden fosfaat. Er is sprake

van (elektrostatische) competitie. Aan de andere kant zal aanvoer van positieve lading naar het grensvlak de fosfaatbinding verhogen. Bij de binding van Ca^{2+} aan het oppervlak wordt een deel van de geaccumuleerde negatieve lading geneutraliseerd waardoor extra fosfaat kan binden.

Het bovenstaande schetst dat er een samenspel is tussen een paar belangrijke factoren die bepalend zijn voor fosfaatbinding. De fosfaatadsorptie zal o.a. afhangen van de fosfaatconcentratie, de zuurgraad (pH), de Ca^{2+} concentratie van poriewater, mate van interactie van organische stof moleculen met het oxide oppervlak, en natuurlijk de hoeveelheid reactief metaal(hydr)oxide oppervlak.

4.2 Modelleringsresultaten

Met behulp van het "Charge Distribution" (CD) model kan men inzicht krijgen in het gedrag van fosfaat in de bodem. Zoals beschreven in Sectie 4.1 zijn er enkele belangrijke procesvariabelen die het gedrag van fosfaat in grond beschrijven, i.e. de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing, de pH waarde van de grond, de Ca^{2+} concentratie en de aanwezigheid van organische stof in het oxide grensvlak. De gevoeligheid van de fosfaatbinding voor elk van deze variabelen kan worden bepaald met het CD model.

Effect van pH

In figuur 10 wordt de invloed weergegeven van de pH op de logaritme van de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing ($\log C_{PO4}$) voor een grond met een reactief oppervlak van 10 m^2/g grond. De berekening is uitgevoerd voor twee verschillende niveaus van belading van het oppervlak met fosfaat, i.e. 1.5 en 2.0 µmol m^{-2} oxide oppervlak. Ook is de concentratie van Ca^{2+} in de bodemoplossing gevarieerd, i.e. aanwezig is 0.01 M of 0.001 M $CaCl_2$ oplossing. Er is een constante hoeveelheid organische stof gebonden.

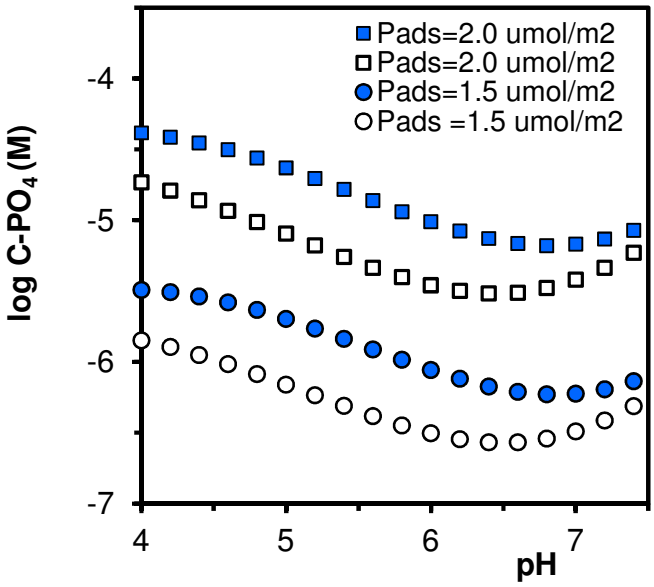


Fig.10 De verwachte variatie in de evenwichtsconcentratie van fosfaat als functie van pH voor twee verschillende niveaus van gebonden fosfaat (1.5 en 2 µmol m^{-2}) aan goethiet (FeOOH) in een 0.001 M $CaCl_2$ (gekleurde symbolen) of een 0.01 M $CaCl_2$ oplossing (open symbolen). De adsorptie van natuurlijk organisch materiaal (NOM) is 1 µmol NOM m^{-2} en het oxide-oppervlak is A = 10 m^2 g^{-1} grond.

De berekeningen gepresenteerd in figuur 10 laten zien dat de concentratie van fosfaat in het traject van pH = 4 tot pH ~ 6.5 afneemt. Er is meer fosfaatbinding. Dit komt door de toename van de Ca-binding bij toename van de pH (Hiemstra et al., 2013; Weng et al., 2011; Weng et al., 2012). Hiermee wordt een zekere hoeveelheid positieve lading geïntroduceerd waardoor de bindingssterkte van fosfaat toeneemt. Bij een hogere pH is het effect van Ca^{2+} onvoldoende en neemt de fosfaatadsorptie toch af doordat het oppervlak netto steeds minder positief wordt. Bovendien verandert de fosfaatspeciatie. In oplossing wordt $H_2PO_4^-$ (aq) omgezet naar HPO_4^{2-} (aq) bij hoge pH waardoor een andere hoeveelheid H^+ bij de bindingsreactie betrokken is. Hierdoor verandert de pH afhankelijkheid (Hiemstra et al., 2007) en stijgt de fosfaatconcentratie in oplossing bij een hogere pH (pH > ~7)..

Effect van calcium

Het belang van calcium wordt duidelijk bij vergelijking van de open (0.01 M) en gesloten (0.001 M) symbolen in figuur 10. Bij toename van de Ca^{2+} concentratie daalt over het gehele pH traject de fosfaatconcentratie door een sterkere binding. De fosfaatconcentratie is nogal gevoelig voor de Ca^{2+} concentratie. Een hoge Ca^{2+} concentratie is representatief voor een nutriëntrijke en bemeste

gronden. Voor het meten van de nutriëntbeschikbaarheid in landbouwgronden wordt in de extractie een relatief hoge Ca^{2+} concentratie gebruikt (0.01 M $CaCl_2$). Een lage Ca concentratie is representatiever voor de condities in arme en onbemeste gronden. Wanneer men in een bodemanalyse water gebruikt als extractiemiddel, zal dit leiden tot een zeer sterke daling van de Ca^{2+} concentratie tot ~10^{-4} - 10^{-5} M. Hierdoor wordt de fosfaatconcentratie veel hoger omdat het fosfaat minder goed kan binden door de lagere binding van Ca^{2+}. Samengevat, voor een grond zal de experimentele fosfaatconcentratie zal dus afhangen van de Ca concentratie tijdens de extractie. Dit zal later verder worden uitgewerkt in Sectie 6.1.

Een ander aspect van de simultane binding van Ca is de schijnbare aanwezig van een Ca-fosfaatproduct aan het oxide-oppervlak bij hoge pH. In figuur 11 is de ratio van gebonden Ca en fosfaat gegeven als functie van pH. Bij hoge pH kunnen Ca en fosfaat voorkomen in gelijke hoeveelheden en is de Ca/P verhouding relatief dicht bij 1, vooral bij een hoge fosfaatbezetting (zie bijschrift Fig.11).

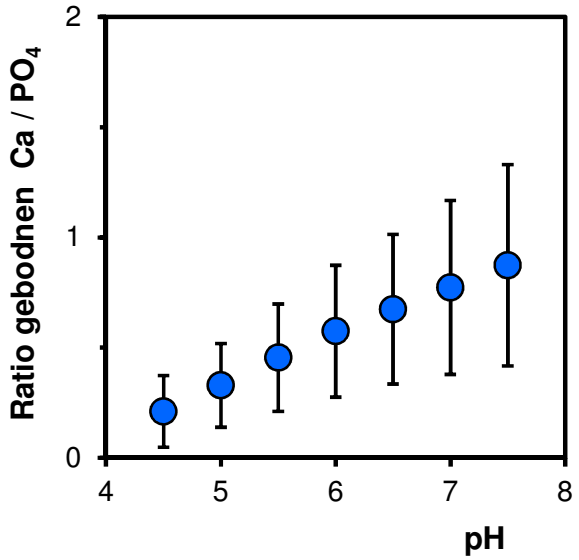


Fig.11 Berekende gemiddelde ratio van calcium en fosfaat gebonden aan ijzeroxide als functie van de pH bij een evenwichtsconcentratie van 1 mmol/L Ca^{2+} en 1 µmol m^{-2} aan natuurlijk organisch materiaal (NOM). De ratio varieert met de fosfaatconcentratie. De lijnen geven de grootte aan (2 maal de standaard afwijking). Bij een gegeven pH neemt de ratio toe met de fosfaatconcentratie. Het betekent dat vooral de Ca binding wordt gestimuleerd. Deze stijgt sneller dan de fosfaatbinding. Bij hoge pH is de Ca/PO_4 verhouding dicht bij 1 en is schijnbaar Ca-fosfaat aanwezig, vooral bij hoge fosfaatconcentraties in oplossing.

Effect van organische stof

In de berekening voor de figuren 10 en 11 is de chemische interactie van organische stof met het oxideoppervlak gefixeerd op 1 µmol m^{-2}. De interactie kan echter variëren doordat bijvoorbeeld het organisch stofgehalte hoger is (Hiemstra et al., 2010b) of doordat het type organische stof en het aantal functionele groepen anders is (Hiemstra et al., 2013). Bij een toename van de interactie van organische stof met het oxide oppervlak zal de hoeveelheid gebonden fosfaat dalen door de competitie. Dit proces is weergegeven in figuur 11. Bij een gegeven concentratie van fosfaat in de evenwichtsoplossing, daalt de P adsorptie met ongeveer 0.6 µmol m^{-2} bij de binding van 1 µmol NOM m^{-2}. De berekeningen suggereren ook dat in een bemeste bovengrond de fosfaatadsorptie typisch in de orde is van ~2-2.5 µmol m^{-2}. In een niet-bemeste bovengrond kan het ~1-1.5 µmol m^{-2} zijn, afhankelijk van de natuurlijke P- rijkdom (Hiemstra et al., 2010b).

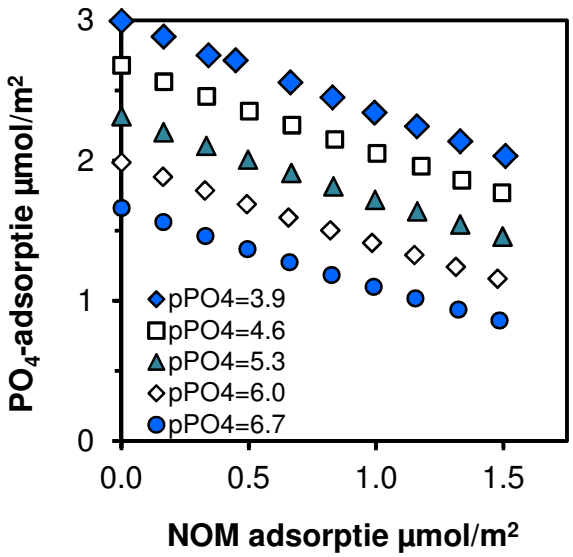


Fig.12. Invloed van geadsorbeerde natuurlijke organische stof (NOM) op de PO_4 adsorptie aan het FeOOH mineraal goethiet voor een reeks evenwichtsconcentraties uitgedrukt in de negatieve logaritme (p) van de PO_4 concentratie in evenwichtsoplossing in aanwezigheid van 1 mM Ca^{2+} bij pH = 5.5.

Multi-lineaire regressiemodel

De bovenstaande relaties zijn berekend met het CD model (Hiemstra et al., 2013; Hiemstra and Van Riemsdijk, 1996a). Men kan de uitkomsten van het rekenmodel als eerste benadering ook samenvatten in een regressiemodel. Daarvoor zijn data met het CD model gegenereerd waarbij de belangrijkste parameters werden gevarieerd. De pH varieerde tussen pH = 4.5 – 7 (i.e. het model is voor niet-zure, sub-neutrale gronden). De Ca^{2+} concentratie varieerde tussen $\log[Ca^{2+}] = -2$ en $\log[Ca^{2+}] = -3$, en de fosfaatconcentratie varieerde van heel laag ($\log[PO_4] = -6.8$) tot heel hoog ($\log[PO_4] = -4$). Daarnaast is de NOM adsorptie (Γ_{NOM}) gevarieerd tussen van $\Gamma_{NOM} = 0$ - 2 µmol m^{-2}. De fosfaatadsorptie Γ_{PO4} kan bij benadering beschreven worden met een empirische vergelijking waarin de adsorptie varieert met de logaritme van de vrije concentraties van di waterstoffosfaat-, calcium- en waterstofionen in oplossing:

$$\Gamma_{PO4} = \log K + a\ \mathrm{pH} + b \log[Ca^{2+}] + c \log[H_2PO_4^-] - d\ \Gamma_{NOM} \qquad [6]$$

In deze vergelijking neemt de fosfaatadsorptie lineair af met de equivalente hoeveelheid gebonden organische stof zoals geïllustreerd in figuur 12.

Voor deze vergelijking zijn de gefitte parameters $\log K = 4.5$, $a = +0.19$, $b = +0.23$, $c = +0.45$ en $d = +0.59$ (R^2=0.99). In de vergelijking zijn de ion concentraties in evenwichtsoplossing gegeven in mol L^{-1} en de geadsorbeerde hoeveelheden (Γ_{PO4}, Γ_{NOM}) in µmol m^{-2}. Op dit moment is directe bepaling van de mate van interactie van NOM met bodemoxide (Γ_{NOM}) mogelijk. Deze waarde kan alleen indirect worden afgeleid uit een combinatie van extractie methoden. Met behulp van een $NaHCO_3$ verdunningsmethode (Hiemstra et al., 2010a) kan Γ_{PO4} worden afgeleid en de evenwichtsconcentratie kan worden bepaald in een 0.01 M $CaCl_2$ extractie. Toepassing van deze waarde geeft Γ_{NOM}. Met de gevonden waarde van Γ_{NOM} kan men voor een grond voorspellen hoe de fosfaatconcentratie zal veranderen bij verlaging van de belading door bijvoorbeeld uitmijnen. Ook kan men voorspellen wat de invloed is van de vrije calciumconcentratie bij verandering van beheer.

Calcium-afhankelijkheid van de fosfaatconcentratie

Bij een gegeven fosfaat- en NOM-adsorptie kan men de verwachte verhouding tussen de fosfaat- en calciumconcentratie berekenen bij een zekere pH. Het model voorspelt $\Delta\log[H_2PO_4] = b/c\ \Delta\log[Ca^{2+}] = 0.51\ \Delta\log[Ca^{2+}]$. Dit betekent dat bij een 10-voudige daling van de Ca^{2+} concentratie de fosfaatconcentratie op een lineaire schaal met een factor ~3.5 stijgt. Als vuistregel geldt dat de som $\log[H_2PO_4] + 0.5\ \log[Ca^{2+}]$ bij benadering een constante waarde heeft bij variatie van de calciumconcentratie in een extractie. In de klassieke literatuur is deze som aangeduid als de zogenaamde “fosfaatpotentiaal” (Schofield, 1955; White and Beckett, 1964; Wild, 1959).

4.3 Binding van fosfaat aan kalk ($CaCO_3$).

Sø et al. (2011) hebben de adsorptie van fosfaat aan $CaCO_3$ (calciet) bestudeerd voor een serie van condities (Fig.13). In deze systemen, zijn de calcium- en (bi)carbonaatconcentraties gekoppeld aan de pH waarde en partiële CO_2-spanning. Deze combinatie van condities bepaald de adsorptie. Het bindingsgedrag van fosfaat kan zeer goed worden beschreven met de principes van het CD model (Sø et al., 2012), besproken in Sectie 4.1.

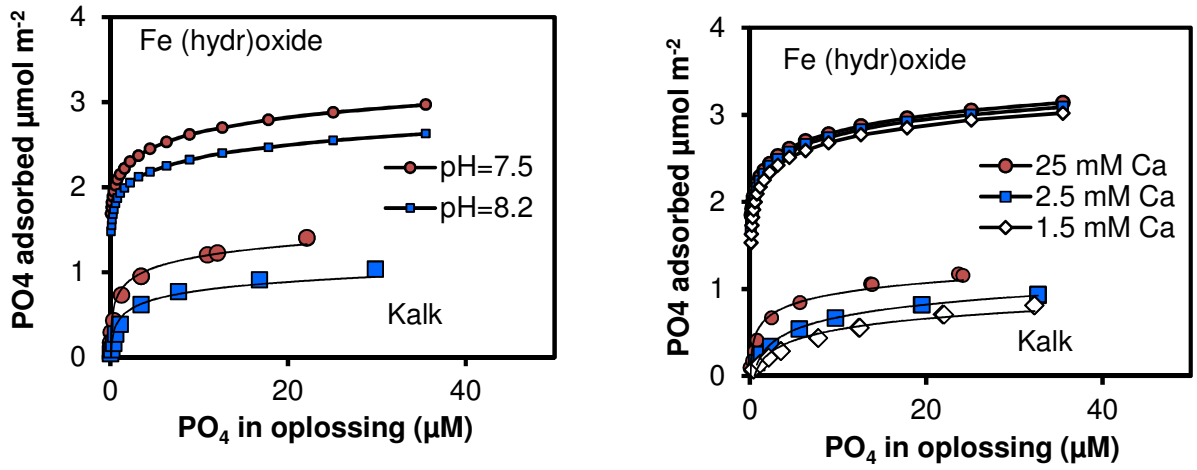


Fig.13 Experimentele adsorptie isothermen van fosfaat aan calcium carbonaat in vergelijking met de berekende binding van fosfaat aan goethiet bij dezelfde omstandigheden. In Fig.13a is de pH gevarieerd bij dezelfde CO_2 spanning (0.4 mbar). In Fig.13b is de pH constant (pH=7) maar varieert de calciumconcentratie door verhoging van de CO_2 spanning.

In calciumcarbonaat systemen kan men bij een gekozen CO_2 spanning de pH variëren (Fig.13a). Bij pH-verhoging stijgt de (bi)carbonaatconcentratie en daalt de Ca-concentratie. Verhoging van de pH van 7.5 (rode cirkels) naar 8.2 (blauwe vierkanten) geeft een daling van de fosfaatbinding en kan past binnen de bovengenoemde processen van toenemende competitie (bicarbonaat), afnemende calciumbinding en verandering van deeltjeslading. Goethiet (FeOOH) laat een vergelijkbaar gedrag zien. Dit is in Fig.13 weergegeven met berekende lijnen. Een belangrijkverschil is het niveau van binding bij eenzelfde fosfaatconcentratie in oplossing. Fe

(hydr)oxiden hebben een veel grotere affiniteit voor fosfaat dan kalk. De adsorptie op calciet ($CaCO_3$) is veel lager (factor ~2-3).

Bij een gefixeerde pH van 7 (Fig.13b) maar toenemende CO_2 spanning p_{CO2} (0.4-50 mbar) neemt de bicarbonaatconcentratie toe maar de Ca^{2+}-concentratie af. Ook in dat geval daalt de fosfaatadsorptie. Men kan bij vergelijkbare condities ook weer de adsorptie aan goethiet (FeOOH) berekenen en deze vergelijken met de adsorptie aan calciet, i.e. lijnen in Fig.13b. De berekeningen dezelfde trend zien hoewel veel minder sterk dan voor calciet. We zien opnieuw dat de adsorptie van fosfaat aan Fe (hydr)oxide duidelijk belangrijker is dan aan calciet wanneer deze wordt uitgedrukt per eenheid reactief oppervlak.

Onze analyse laat zien dat er een vergelijkbaar gedrag is van kalk en metaaloxides in termen competitieve en coöperatieve binding maar dat kalk een lagere affiniteit heeft en dus een lagere belading per eenheid reactief oppervlak (Fig.13). Daarnaast is de bijdrage van kalk aan de grootte van het reactief oppervlak, i.e. 2-6 m^2 g^{-1} (del Campillo et al., 1992; Holford and Mattingly, 1975) vaak relatief klein is ten opzichte van Fe en Al oxiden, i.e. 3-30 m^2 g^{-1} (Hiemstra et al., 2010a). Daarom is het gedrag van fosfaatbinding in kalkhoudende gronden veelal bepaald door ijzer(hydr)oxiden en het CD model is uitermate geschikt voor de beschrijving ervan.

5 Snelheid van fosfaatafgifte

Hoewel de bodem als geheel op de lange termijn bij benadering in evenwicht zal zijn met de gemiddelde heersende fosfaatconcentratie in het poriewater, zal er bij fosfaatopname een niet-evenwichtssituatie ontstaan door de lage transportsnelheid van fosfaat in de rhizosfeer (Sectie 2) maar ook door een veel te langzame snelheid van intern fosfaattransport in de domeinen met nanodeeltjes (Sectie 3). Er is een lage desorptiesnelheid.

De fosfaatdesorptiekinetiek van gronden is bestudeerd door Van der Zee et al (1987). In deze studie is de fosfaatdesorptie van een aantal Nederlandse bodems gemeten met een ijzeroxide-strip methode. In deze aanpak wordt de fosfaatconcentratie in de extractievloeistof zeer laag gemaakt door het fosfaat vast te leggen aan filterpapier dat geïmpregneerd is met ijzer(hydr)oxide. Dit ijzeroxide bestaat uit nano-oxide deeltjes van het mineraal ferrihydrite (Fh). Dit type van extractie met Fh-geïmpregneerd papier staat bekend als een "infinite sink" methode omdat er een overmaat aan bindingscapaciteit aangeboden kan worden waardoor de fosfaatconcentratie in het extract heel laag wordt. Hierdoor kan er een maximale concentratiegradiënt worden gehandhaafd tussen het bodemoppervlak en het extract. De snelheid van desorptie is daardoor maximaal. De vastlegging van fosfaat aan een ferrihydrite (Fh) papierstrip is vergelijkbaar met de actieve opname van fosfaat door een plantenwortel.

De Fh-papierstrip staat ook bekend als FeO-, HFO-, of P_i -papier. De eigenschappen zijn beschreven in een review van Chardon et al. (1996). Bij de bereiding volgens Van der Zee et al. (1987) bevat elk Fh strip ~120 µmol Fe wat equivalent is met ~11 mg ferrihydrite. Bij een geschat reactief oppervlak van 650 m^2/g ferrihydrite (Hiemstra, 2013) is er ~ 7 m^2 reactief oppervlak per strip en bij een adsorptiecapaciteit van 4 µmol P m^{-2} kan maximaal 28 µmol P per strip worden gebonden, in overeenstemming de experimentele gegevens van Van der Zee et al. (1987).

Bij het gebruik van 4 Fh-papierstrippen per gram grond blijkt dat de totale hoeveelheid gedesorbeerd fosfaat onafhankelijk wordt van het aantal toegevoegde stroken. De concentratie in het extract is dan maximaal verlaagd (van Rotterdam et al., 2009). In termen van adsorptie en desorptie is onder die omstandigheden alleen de desorptiereactie actief. Het extract is voldoende onderverzadigd waardoor een mogelijke bijdrage van de teruggaande adsorptiereactie nihil is. Daardoor hangt de afgiftesnelheid in principe alleen nog maar af van de aanwezige P-voorraad

gebonden aan de gronddeeltjes. De experimenten laten zien dat de snelheid van afgifte meestal zeer sterk af neemt binnen ongeveer 1 of 2 dagen. Het fosfaat dat is vrijgemaakt in deze tijd, behoort tot een snel-reagerende "pool". De initiële omvang van deze voorraad of "pool" is Q_o (mol/kg). In de interpretatie van Sectie 2 en 3 kan deze snel-reagerende pool toegedicht worden aan fosfaat aanwezig op de externe bodemoppervlakken. Daarnaast is er een langzaam reagerende fosfaatvoorraad die intern in de domeinen met nanodeeltjes (Fig.6b,7) gebonden wordt. De langzame fractie is in sterke mate transport gelimiteerd doordat het door een negatieve geladen Donnan fase moet bewegen (Fig.8).

Modelbeschrijving

De desorptiesnelheid van de snel-reagerende voorraad kan gegeven worden als:

$$\partial Q/\partial t = -k_{\mathrm{d}} Q \qquad [7]$$

waarin k_d de desorptieconstante is en Q de actuele hoeveelheid fosfaat van de reagerende pool. De integraal van deze vergelijking geeft de relatie tussen de initieel geadsorbeerd (Q_o) en de nog gebonden hoeveelheid $Q(t)$ na t uur extractie:

$$Q(t) = \mathrm{Q_o} e^{-k_d t} \qquad [8]$$

waarin Q_o de initiële hoeveelheid is in de snel reagerende pool. Met deze vergelijking ([8]) kunnen we de P-afgifte (Q_o-$Q(t)$) voorspellen bij toepassing van de "infinite sink" methode. Bij lange extractietijden wordt de maximale desorptie Q_{max} bereikt en nadert $Q(t)$ nul. De hele voorraad is gedesorbeerd en de maximale desorptie is gelijk aan de initieel gebonden voorraad aan snel-reagerend fosfaat ($Q_o = Q_{max}$).

Snelheidsconstanten

Voor negen verschillende gronden is de snelheidsconstante van desorptie (k_d) bepaald door Van der Zee et al. (1987). De k_d waarden varieerden tussen 0.08 uur^{-1} en 0.36 uur^{-1}. De gemiddelde waarde was k_d = 0.2 uur^{-1} met een standaarddeviatie van 0.07 uur^{-1}. Wanneer de desorptie over

een langere tijdsperiode tot meer dan 2 maand (1600 uur) wordt gevolgd onder zero-sink condities krijgt men inzicht in de nalevering uit de langzaam-reagerende pool (Q_2). Deze langzaam reagerende voorraad is gedefinieerd als het verschil tussen de oxalaat-extraheerbare voorraad en de snel reagerende voorraad. De snelheidsconstante (k_{d2}) van de langzaam reagerende pool is in de orde van een factor 50-100 lager, i.e. k_{d2} = 0.008±0.003 dag^{-1} (Lookman et al., 1995). Deze langzame snelheid is het gevolg van transportlimitering in het binnenste van de aggregaten en daarmee is het proces conceptueel anders dan de desorptie van een extern oppervlak. De langzaam reagerende fosfaatvoorraad draagt dus niet bij aan de desorptie op korte tijdschalen van bijvoorbeeld één dag, maar kan gaan bijdragen op een tijdschaal één tot enkele weken. Bij een intensieve en dynamische beworteling zoals in de zode van graslanden kan fosfaat uit de langzaam reagerende pool mogelijk deels bijdragen vanwege het opnieuw beladen van de externe oppervlakken vanuit de intern gebonden P voorraad (Fig.2). Op de tijdschaal van een seizoen en langer kan het benutte bodem vrijwel geheel herstellen door herdistributie tussen intern en extern gebonden fosfaat in combinatie met aanvoer vanuit grond buiten de rhizosfeer.

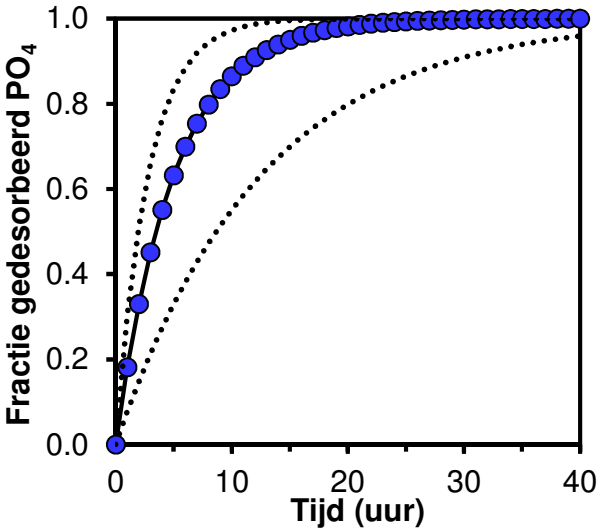


Fig.14. Tijdsafhankelijkheid van de extraheerbare PO_4 fractie beschikbaar in de snel reagerende pool bij een infinite-sink benadering. De desorptie bij een gemiddelde k_d waarde (0.2 uur^{-1}) is weergegeven met symbolen. De gestippelde lijnen geven de desorptie bij de maximale (0.36 uur^{-1}) en minimale (k_d =0.08 uur^{-1}) waarde. De fractie gedesorbeerd fosfaat is gelijk aan 1 minus de fractie aan fosfaat gebonden in de snel reagerende pool.

In figuur 14 is de desorptie weergeven als functie van de desorptietijd bij een infinite-sink conditie. De lijn met de symbolen is berekend voor de gemiddelde k_d-waarde en de stippellijnen gelden voor de minimale en maximale k_d-waarde. Uit figuur 14 blijkt dat het meeste fosfaat vrijkomt binnen 1-3 dagen. Dit suggereert dat de snel reagerende pool een goede maat is voor biobeschikbaarheid fosfaatfractie als de opnameperiode van het worteloppervlak beperkt is (Sectie 5).

6 Fosfaatextracties van grond

Indeling van analysemethoden

Bodemchemische analysemethoden en processen van de chemische beschikbaarheid van fosfaat kunnen worden ingedeeld door onderscheid te maken tussen evenwichtsmethoden en niet-evenwichtsmethoden. Anderzijds kan me dezen indelen op basis van fosfaatintensiteit en fosfaat capaciteit. De concentratie in een evenwichtsoplossing vertegenwoordigt de intensiteit (mol/L of mg/L), terwijl de voorraad een capaciteitsparameter van de grond is wat tot uitdrukking komt in de eenheid van deze maat, zijnde mol/kg grond of mg/kg grond. Het zal duidelijk zijn dan dat bodems met eenzelfde fosfaatintensiteit (mol/L) een zeer verschillende capaciteit of voorraad (mol/kg) kunnen hebben en omgekeerd kunnen bodems een vergelijkbare voorraad hebben maar sterk verschillen in extracties die karakterisering van de evenwichtsoplossing beogen.

6.1 Milde extracties

P_w methode

In de Nederlandse landbouw is de biobeschikbaarheid van fosfaat traditioneel geëvalueerd met de zogenaamde P_w methode (Sissingh, 1971). Hierbij wordt een volume gedroogde grond (1.2 mL) na bevochtigen met 2.0 ml water geïncubeerd gedurende 22 uur bij 20 ^oC om vervolgens te worden geëxtraheerd door toevoeging van nog eens 70 ml water gedurende 1 uur, waarna de fosfaatconcentratie wordt gemeten in het gefilterde extract. Tijdens de initiële incubatie kan het monster evenwicht bereiken, maar in de tweede stap, bereikt het monster geen evenwicht, o.a. vanwege de korte schudtijd en de grote overmaat aan water van 60 mL per cm^3 grond. Dit wordt later verder besproken. Bij een gemiddelde droge bulkdichtheid van 1.2 g cm^{-3} is de initiële schudverhouding tijdens de incubatie van 1.2 mL grond met 2 mL water gelijk aan 1 g grond per 2 mL water of ook wel 1:2 g/g. De P_w meting geeft inzicht in de fosfaattoestand die afhankelijk van de doelstelling een waardering krijgt. In tabel 1 staat de waardering voor landbouwkundig gebruik bij maisteelt. Schrale graslanden hebben een zeer lage P_w waarde in de orde van ~2 mg P/kg grond noodzakelijk (Sival and Chardon, 2002, 2004).

Tabel 1 Landbouwkundige waardering van de fosfaattoestand met grenswaarden (P_w getal)

Waardering	mg P_2O_5 / L grond	mmol P/ kg grond*	mg P/ kg grond*	PSI = $P_{ox}/Fe_{ox}+Al_{ox}$**
Zeer laag	10	0.1	3	0.05
Laag	20	0.2	6	0.10
Voldoende	30	0.3	9	0.15
Ruim voldoende	45	0.4	12	0.20
Vrij hoog	60	0.6	18	0.25
Hoog	> 60	> 0.6	> 18	>0.25

* Bij een bulkdichtheid van ~1.4 g cm^{-3}

** P_w gerelateerde *gemiddelde* PSI correlatief afgeleid uit data van Schoumans et al. (1991)

1:2 Waterextractie

Koopmans et al. (2006) heeft een bepalingsmethode gebruikt die zeer vergelijkbaar is met de eerste stap in de P_w bepalingsmethode, namelijk een waterextractie van fosfaat bij een grond-vloeistof verhouding van 1:2 g/g gedurende 22 uur. In dit extract wordt fosfaat gemeten. Een tweede stap met verdere verdunning door toevoeging van heel veel water vindt niet plaats. De gemeten concentratie zal gelijk zijn aan de initiële concentratie van de P_w bepalingsmethode (voorafgaande aan de verdere verdunning in de P_w methode). NB. De concentratie van fosfaat in bodemwater of een waterextract wordt in de literatuur soms ook aangeduid afkorting zoals P_w, P_{H2O} et cetera, maar deze waarden zijn uiteraard zeer verschillend van uitkomsten met de P_w methode van Sissingh (Sissingh, 1971).

0.01 M Calciumchloride extractie

Een andere voorgestelde methode maakt gebruik een 0.01 M $CaCl_2$ oplossing als extractiemiddel (Schofield, 1955; van Erp et al., 1998). De gedachte is dat deze oplossing qua zoutsterkte representatief is voor poriewater in de veldsituatie van landbouwgronden tijdens het groeiseizoen. In de extractie is de schudverhouding 1:10 g/g. Voor fosfaat is een evenwichtsinstelling van 2 uur meestal voldoende. Bij de methode van Koopmans et al. (2006) met de toevoeging van water wordt de Ca^{2+} concentratie t.o.v. de concentratie in het bodemvocht in de veldsituatie sterk verlaagd. De Ca^{2+} concentratie kan circa een factor 10-30 lager zijn. Op grond van het besproken CD model mag men verwachten dat een lagere Ca^{2+} concentratie leidt tot een hogere evenwichtsconcentratie van fosfaat. Volgens vergelijking [6] zal bij een 10- tot 30-voudige daling van de Ca^{2+} concentratie de fosfaatconcentratie stijgen met circa een factor 3 tot 6. Toch wordt uiteindelijk een vrij vergelijkbare hoeveelheid fosfaat gedesorbeerd wanneer uitgedrukt per kg

grond omdat in het waterextract van Koopmans et al. (2006) een 5 maal kleiner hoeveelheid vloeistof wordt gebruikt per kg grond.

Vergelijking van methoden

Het bovenstaande kan worden geïllustreerd met een dataset waarin de drie genoemde bepalingsmethoden zijn toegepast op o.a. een serie zandgronden (Koopmans et al., 2006). Deze is gegeven in figuur 15. In het 1:2 waterextract is de Ca^{2+}-concentratie bepaald. De Ca^{2+} concentratie in het uiteindelijk P_w extract is niet gemeten maar kan worden geschat aannemende een verdunningsfactor 30 voor bij de tweede verdunningsstap in de P_w bepalingsmethode.

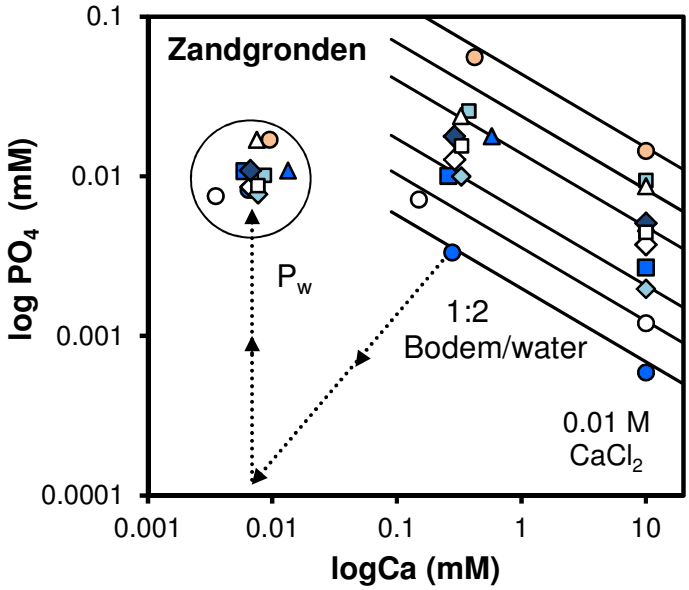


Fig.15. Relatie tussen de experimentele fosfaatconcentraties en de Ca^{2+} concentratie in het extract voor drie fosfaatbepalingsmethoden (symbolen), i.e. P_W methode, de 1:2 bodem : water extractie (g/g), en de 0.01 M $CaCl_2$ extractie (1:10 g/g). De lijnen geven het verwachte Ca^{2+} afhankelijkheid van de fosfaatconcentratie bij evenwicht volgens het fosfaatadsorptiemodel (verglk.[6]) onder de aanname van een voldoende voorraad aan gebonden fosfaat. Ongepubliceerde data behorende bij Koopmans et al. (2006). De gestippelde lijn geeft een reactiepad weer van een 1:2 monster dat 30 maal wordt verdund zoals in de tweede stap van de P_w bepaling. Hierbij daalt de Ca-concentratie. Na de verdunning stijgt de P-concentratie weer sterk door desorptie, maar de verwachte evenwichtsconcentraties liggen over het algemeen veel hoger. Daardoor gedraagt het toegevoegde water zich als een "infinite sink." Het is ook opmerkelijk dat de fosfaatconcentraties in het P_w extract zeer veel minder variëren dan de evenwichtsconcentraties in het 1:2 bodem water extract en 0.01 M $CaCl_2$. Het geeft aan dat de labiele voorraad (capaciteit) vooral varieert op de lineaire schaal terwijl evenwichtsconcentraties (intensiteit) de log-schaal variëren.

In figuur 15 is de helling van de lijn -0.5 (log-log plot). Deze lijn geeft de Ca afhankelijkheid van de fosfaatconcentratie, zoals deze volgt uit toepassing van het CD model (vergelijking [5]). De verandering van de evenwichtsconcentratie van fosfaat bij verlaging van de Ca^{2+} concentratie in de extractie is bij benadering te voorspellen met het bovenbeschreven oppervlak-complexeringsmodel. Wanneer we deze Ca-afhankelijkheid extrapoleren naar de verwachte evenwichtssituatie in het P_w extract verwachten we in veel gevallen een aanzienlijk hogere fosfaatconcentratie dan experimenteel wordt gevonden. Dit verschil kan verklaard worden uit de zeer korte extractietijd (slechts 1 uur) terwijl vanwege de grote verdunning een veel grotere hoeveelheid fosfaat moet worden gedesorbeerd om evenwicht te bereiken. De desorptiesnelheid is te laag. De conclusie is dus dat de P_w een niet-evenwichtsmethode is.

De 1:2 waterextractie is in de afgelopen jaren regelmatig toegepast ter karakterisering van de fosfaatstatus van een breed scala van natuurterreinen (Giesen and Geurts, 2004, 2006a, b; Kemmers et al., 2006). De fosfaatconcentratie is gerelateerd aan de fosfaatverzadigingsgraad van reactief ijzer en aluminium gemeten met een oxalaatextractie. Deze relatie kan worden geïnterpreteerd als een adsorptie-isotherm (Giesen and Geurts, 2004). Er zijn verschillen tussen bodemtypen en locaties. Dit is begrijpelijk omdat adsorptie moet worden uitgedrukt per eenheid oppervlak en niet massa (Sectie 4) omdat de processen sterk worden gestuurd worden door lading met bijbehorend elektrostatisch veld. De adsorptie afhankelijk van het specifiek oppervlak en grootte van de Fe&Al oxide nanodeeltjes. Bovendien wordt ze gestuurd door de concentratie aan calcium ionen en de interactie van organische stof met het oxide oppervlak. Hierin speelt de kwaliteit van organische stof een belangrijke rol (Hiemstra et al., 2013). Samenvattend, verwacht mag worden dat er geen unieke relatie zal bestaan tussen de concentratie in het 1:2 extract en de beladingsgraad van de ijzer- en aluminium oxidedeeltjes gemeten met een oxalaatextractie. Zoals we hebben laten zien, is de P_w-extractie een niet-evenwichtsmethode. De gemeten concentratie is geen evenwichtsconcentratie. Het representeert de hoeveelheid P die in 1 uur kan worden vrijgemaakt. Daarom is het logisch om deze waarde niet uit te drukken in mol/L (mg/L) maar mol/kg (mg/kg). Men zou ook de eenheid mol kg^{-1} uur^{-1} kunnen gebruiken om uit te drukken dat het de hoeveelheid is die maximaal per uur kan worden geleverd. Daarnaast is logisch om de waarde van P-$CaCl_2$ uit te drukken in mol/L (mg/L) en niet mol/kg (mg/kg) omdat deze waarde conceptueel een evenwichtsconcentratie uitdrukt.

Anion-uitwisselaar

De evenwichtsconcentratie van fosfaat in poriewater kan ook worden benaderd met het toepassen van een anionenwisselaar (Ceulemans et al., 2014; Gilbert et al., 2009). Hierbij wordt een positief geladen hars of membraan toegevoegd aan de bodem. Bij toepassing moet men vermijden dat (negatief geladen) gronddeeltjes zich kunnen hechten aan de anionenwisselaar. Door klassieke ionenomwisseling wordt er fosfaat uit het poriewater onttrokken die wordt aangevuld met enige P desorptie van de bodemmatrix. Er ontstaat opnieuw evenwicht die dicht bij de uitgangssituatie zal liggen als de hoeveelheid hars relatief klein is ten opzichte van de (labiele) bodemvoorraad. Bepaling van de omgewisselde hoeveelheid fosfaat wordt vaak uitgedrukt per gram grond. Zulke datareeksen zijn alleen vergelijkbaar bij eenzelfde verhouding in van grond en ionwissellaar. Uit de hoeveelheid P per gram hars kan in principe alleen de evenwichtsconcentratie worden afgeleid indien de anionensamenstelling van het poriewater bekend is, i.e. de concentraties van de competitieve anionen Cl^-, NO_3^-, HCO_3^-, en SO_4^{2-}. Belangrijk bij deze niet-specifieke binding is de verhouding tussen mono- en bivalent anionen. Beneden pH=6 is fosfaat dominant aanwezig als monovalent ion $H_2PO_4^-$ maar tussen pH 6 en 8 wordt de fosfaatspeciatie in toenemende mate bepaald door HPO_4^{2-}. Door deze complexiteit is de toepassing van het hars om de gemiddelde evenwichtsconcentratie te bepalen weinig aantrekkelijk en zinvol. Bovendien is toepassing van deze methode gericht op een maat voor opgelost fosfaat terwijl de grootte van de snel-reactieve fosfaatvoorraad veel belangrijker is.

6.2 “Infinite sink” methoden

P_w methode

Figuur 14 heeft laten zien dat de extractietijd van slechts 1 uur tekort is om evenwicht bereiken bij een kleine grond-vloeistof verhouding en een lage Ca^{2+} concentratie. Het toegevoegde water reageert als een “infinite sink” in die zin dat de fosfaatconcentraties zover van evenwicht zijn dat snelheid van de teruggaande adsorptie nog zeer laag is in vergelijking met de desorptiesnelheid. Daarmee is de P_w methode in principe vergelijkbaar met de extractiemethode die de Fh-strip gebruikt als “infinite sink”.

Met behulp van inzicht in de desorptiekinetiek (Sectie 5) kan men voor een systeem met de conditie van “infinite sink” de P-afgifte voorspellen als functie van tijd, i.e. Q_o-$Q(t)$, indien de snelheidsconstante (k_d) bekend is. Voor een negental zandgronden hebben Van der Zee et al. (1987) niet alleen de k_d waarde bepaald, maar ook de P_w extractie uitgevoerd. De verwachte desorptie in het P_w extract (t = 1 uur) kan worden berekend door toepassing van vergelijking [8]. Introductie van de experimentele waarden voor de snelheidscontante k_d en grootte van de labiele pool (Q_{max} = Q_0) geeft de verwachte hoeveelheid die extraheerbaar is bij een “infinite sink” conditie. In figuur 16 is de relatie tussen de verwachte en experimentele desorptie in het water extract gegeven.

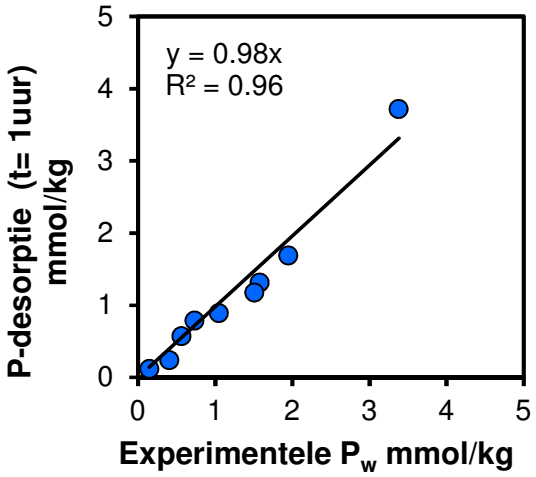


Fig.16. Relatie tussen de experimentele bepaalde fosfaatextractie met de P_w bepaling, uitgedrukt in mmol per kg grond, en de berekende fosfaatdesorptie op grond van een gemeten snelheidsconstante k_d en totale grootte (Q_o) van de labiele fosfaatvoorraad. Binnen de onnauwkeurigheid vinden we precies een 1:1 relatie tussen beide grootheden.

De correlatie is bijzonder goed en belangrijk, er wordt een 1:1 relatie gevonden. Met andere woorden, de P_w waarde kan uitstekend worden verklaard uit de dynamiek van P afgifte van de snel-beschikbare fosfaatvoorraad (vergelijking [8]). Beide methoden geven dezelfde P desorptie na 1 uur. De P_w bepaling kan gezien worden als een "infinite sink" methode waarbij de "sink" wordt gevormd door de overmaat aan toegevoegd water, terwijl bij de Fh-stripmethode het ferrihydrite materiaal als "infinite sink" fungeert. Het nadeel van water als "infinite sink" is dat de concentraties in het extract erg laag kunnen zijn wat analytisch lastig is met conventionele methode.

Fh-strip methode

Volgens Van der Zee et al. (1987) liggen de waarde voor de snelheidsconstanten tussen k_d = 0.08 en 0.35 uur^{-1}. De gemiddelde waarde is k_d = 0.2 uur^{-1}. De variatie heeft invloed op de uitkomsten van de P_w methode bij een gegeven fosfaatvoorraad. In figuur 17 is de experimentele relatie tussen de labiele fosfaatvoorraad (Q_{max}) geëxtraheerd met 4 Fh-strips (blauwe symbolen) en de P_w waarde uitgedrukt in mmol/kg bij een aangenomen bulk dichtheid van 1250 kg m^{-2}.

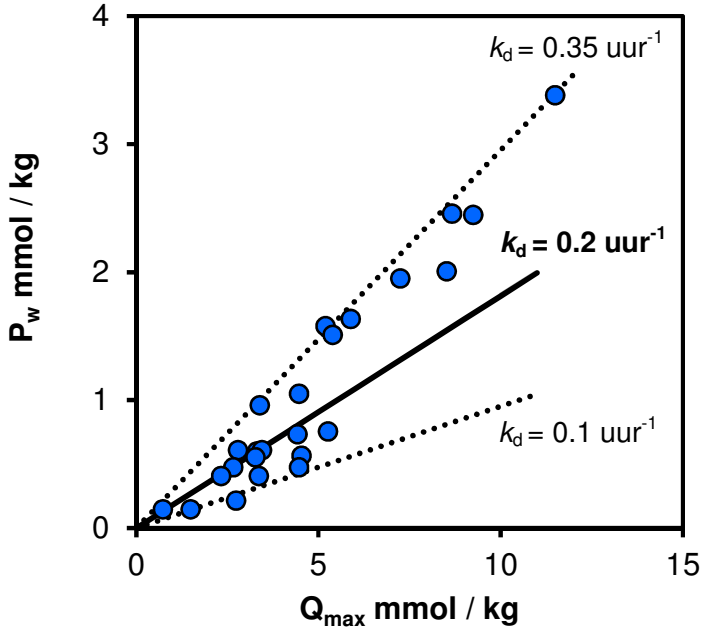


Fig.17 P_w waarde in relatie tot de labiele fosfaatvoorraad extraheerbaar met 4 Fh-strips (mmol per kg).

De rechte lijn in figuur 17 geeft de verwachte P_w-waarde bij de gemiddelde waarde van de snelheidsconstante van desorptie (k_d = 0.2 uur^{-1}). Veel punten voldoen echter aan de een hogere waarde van de snelheidsconstant (k_d = 0.35 uur^{-1}), weergegeven met de gestippelde lijn. De andere gestippelde lijn is equivalent met een lagere snelheidsconstante (k_d = 0.10 uur^{-1}) en is meer van toepassing op monsters met een relatief kleine P voorraad. De algemene trend is dat bij toename van de P voorraad de snelheidsconstante ook toeneemt.

Koopmans et al. (2006) heeft voor de belangrijkste grondsoorten voor landbouwkundig gebruik de fosfaatbeschikbaarheid gemeten. Het betreft hier zowel klei als zand bodem, kalkhoudende als kalkloze bodems, en gronden hoog in organische stof. Een goede tot zeer goede correlatie wordt gevonden tussen P_w en de extractie met de Fh-papierstrip (Fig.18).

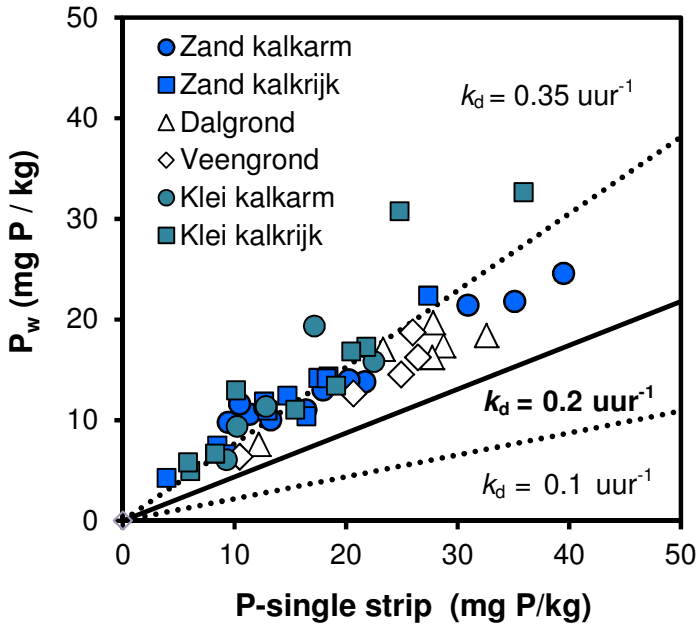


Fig.18. P-geëxtraheerd met water in 1 uur (P_w) versus de hoeveelheid geëxtraheerd met 1 Fh papierstrip. In geval van klei zijn er soms afwijkingen. Mogelijk hangt dit samen met enige dispersie van bodemdeeltjes in het P_w extract. Om deze reden wordt het aanbevolen extra te filtreren en /of de methode in duplo uit te voeren en deze te herhalen bij te grote afwijkingen.

Bij de fosfaatdesorptie door Van der Zee et al. (1987) zijn 4 Fh-papierstrippen met Fh gebruikt in tegenstelling tot Koopmans et al. (2006) die slechts 1 strip hebben toegepast. Bij de keuze van 1 Fh-strip zijn de gedesorbeerde hoeveelheden fosfaat kleiner dan de maximale

hoeveelheid Q_{max} snel-desorbeerbaar fosfaat (van Rotterdam et al., 2009). Uit data van Van der Zee et al. (1987) blijkt dat de labiele pool 2.18 ±0.08 maal groter is (R^2=0.88) dan wat men met 1 Fh-strip extraheert, i.e. Q_{max} = 2.18 P_1 (R^2=0.88). Met behulp van deze correlatie kan modellijnen voor 3 waarden voor k_d gegeven in figuur 17, omrekenen naar de verwachte relatie tussen P_w en extractie met 1 Fh strip. Dit is weergegeven met de drie lijnen in figuur 16. Uit deze vergelijking blijkt dat de meeste gronden van Koopmans et al. (2006) een hoge k_d-waarde hebben. De snelheidsconstante is dus meestal veel groter en lage k_d waarden worden niet gevonden.

De extractie data Koopmans et al. (2006) met 1 Fh strip kunnen ook rechtstreeks vergeleken worden met data van Van der Zee (1987) die de extractie ook met 1 strip heeft uitgevoerd (Fig.18). Er is een systematisch verschil. Vooral bijeen lage beschikbaarheid van fosfaat is de hoeveelheid die men extraheert net de Fh papierstrip veel groter. Eenzelfde patroon is zichtbaar voor de data van Schoumans et al. (1991). Volgens de figuren 17 en 19 is er door Van der Zee et al. (1987) klaarblijkelijk meer fosfaat geëxtraheerd.

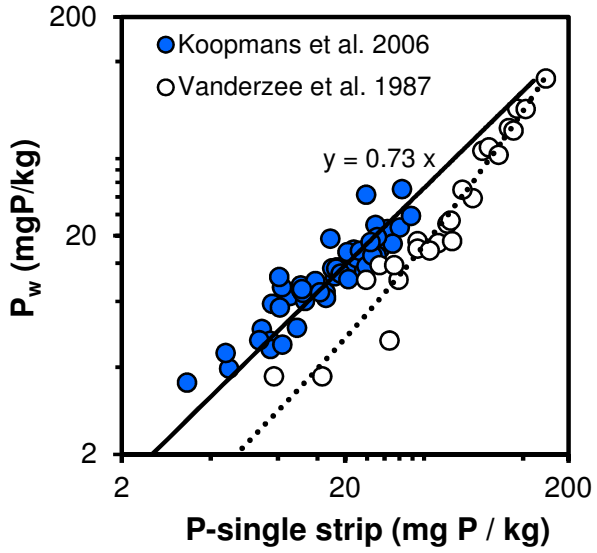


Fig.19. P_w waarde als functie van de hoeveelheid fosfaat desorbeerbaar met 1 Fh-papierstrip. De data van Koopmans et al.(2006) zijn lineair afhankelijk en de relatie ligt systematisch hoger dan gevonden door Van der zee et al.(1987) met 1 papier (open symbolen). In de experimenten van Koopmans et al.(2006) is de Fh-papierstrip geschoond van gronddeeltjes met een air brush.

Een goede verklaring voor de grotere extractie met Fh papier kan zijn dat een deel van het gemeten fosfaat afkomstig is van gronddeeltjes die zich aan het papier hebben gehecht tijdens de

extractie (Chardon et al., 1996). Koopmans et al. (2006) hebben daarom deze aangehechte bodemdeeltjes zoveel mogelijk verwijderd met een “air brush” techniek, ontwikkeld door Whelan et al. (1994). Hierdoor vinden zij een steilere helling en een lineair verband. De relatie kan beschreven worden met $P_w = 0.73\ P_1$. Indien 4 Fh pappiertjes in de extractie zouden zijn gebruikt, verwacht men een 2.18 maal lagere helling. In dat geval zal gelden $P_w = 0.33\ Q_{max}$ in plaats van $P_w = 0.73\ P_1$. Dit gevonden verband kan worden gecombineerd met vergelijking [8]. Herschrijven en introductie van t = 1 uur geeft de waarde voor de gemiddelde snelheidsconstante van desorptie $k_d = 0.4$.

Alternatieve experimentele set-up

Men kan fosfaat ook extraheren met behulp van een hydrogel (Agar) met daarin aanwezig Fe oxidedeeltjes die fosfaat binden. De reactieve gel wordt voorzien van een beschermlaag en een niet-reactief membraan. Deze methode is ontwikkeld voor analyse van zware metaalionen en is bekend als de DGT (Diffusive Gradient Thin film) methode. De DGT eenheid wordt in contact gebracht met grond en na 24 uur wordt de hoeveelheid gebonden fosfaat bepaald (Kruse et al., 2015). De snelheid van onttrekking wordt in deze methode bepaald door een combinatie snelheid van diffusie door het membraan en de gel enerzijds en anderzijds door de snelheid van afgifte van fosfaat door de bodem. Initieel is de afgiftesnelheid hoog en wordt de vastlegging gereguleerd door de diffusie in het membraan en gel terwijl bij daling van de concentratie in oplossing de afgiftesnelheid van de bodem een rol gaat spelen.

Een andere variant is het toepassen van een dialysemembraan met aan de ene zijde een Fe (hydr)oxide suspensie die het fosfaat bindt en aan de andere zijde een grondsuspensie die fosfaat afstaat. Ook hier is de concentratie in de bodemoplossing aan de grondzijde aanvankelijk (24-48 uur) nog meetbaar hoog (Freese et al., 1995) omdat de afgiftesnelheid van de bodem ten opzichte van de snelheid van vastleggen te hoog kan zijn. Transport door het membraan is dan nog limiterend. Een vergelijkbaar probleem kan soms optreden bij de Fh-strip methode (van Rotterdam et al., 2009) bij toepassing van onvoldoende Fh-strips waardoor de fosfaatconcentratie in oplossing aanvankelijk nog niet voldoende verlaagd door een relatief lage snelheid van vastlegging in de geaggregeerde Fh deeltjes op het papier. In al deze gevallen wordt de P-afgifte van de grond bepaald door een variabele en niet goed gedefinieerde concentratie in oplossing die bijdraagt aan de teruggaande adsorptiereactie. Dit past niet bij het concept van een infinite sink.

Snelheidsconstante van desorptie

Om het niet-lineaire verband tussen P_w en hoeveelheid fosfaat aan het Fh papierstrip (Fig.17) te verklaren kunnen we aannemen dat zich eenzelfde hoeveelheid bodemdeeltjes hecht aan de Fh-papierstrippen, maar dat de fosfaatbelading van deze deeltjes verschillend is. Deze belading neemt geleidelijk toe tot een maximum kan worden bereikt. Als de evenwichtsconcentratie van fosfaat een maat is voor de fosfaatbelading, verwacht men een relatie met schijnbare k_d waarde die de vorm heeft van een adsorptie-isotherm.

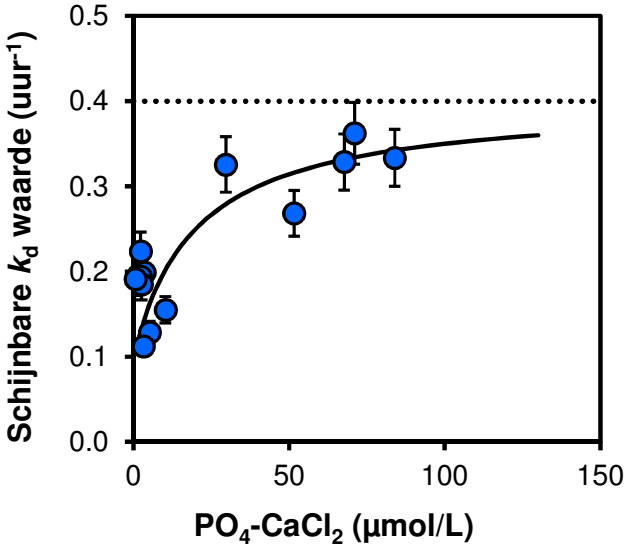


Fig.20 De snelheidsconstante k_d is een functie van de evenwichtsconcentratie van fosfaat in 0.01 M $CaCl_2$ (niet-gepubliceerde data). De onzekerheidsbalk is equivalent met 10% onzekerheid. De gestippelde lijn is de geschatte maximale waarde van de snelheidsconstante (0.4 uur^{-1}).

In figuur 20 zijn de k_d waarde gegeven als functie van de evenwichtsconcentratie in 0.01 M $CaCl_2$ (ongepubliceerde gegevens). Bij toename van de fosfaatconcentratie neemt de fosfaatbelading van de bodemdeeltjes toe en daarmee kan de totale hoeveelheid P toenemen die men met Fh strippen verwijdert. Bij een toename van de evenwichtsconcentratie raken deeltjes meer en meer verzadigd met fosfaat en wordt uiteindelijk een maximum bereikt. In de relatie P_w en P-strip (Fig.20) bereikt de relatieve bijdrage van de gebonden bodemdeeltjes een maximum en daarmee benadert de helling de afgeleide gemiddelde waarde van de snelheidsconstante $k_d = 0.40$ uur^{-1}.

Extern versus Intern gebonden fosfaat

Met behulp van de nieuw bepaalde waarde van snelheidsconstante van desorptie (k_d) doet zich een interessante nieuwe mogelijkheid voor. Met kan met deze k_d waarde combineren met de met de gemeten P_w waarde om daarmee de verwachte grootte van de snel reagerende P-pool te berekenen. Na herschrijven leidt vergelijking [8], in combinatie met $Q(t=1) = Q_{max} - P_w$, tot:

$$Q_{max} = \frac{P_w}{(1-e^{-k_d})} \sim \frac{P_w}{0.3} \qquad [9]$$

Introductie van k_d en P_w geeft Q_{max}.

De fosfaatvoorraad aanwezig op de externe oppervlakken (Q_{max}) kan worden gecombineerd met de totale anorganisch fosfaatvoorraad. Deze anorganische voorraad kan men meten met een oxalaat-extractie (P_{ox}). Hiemstra et al. (2010a) laten zien dat deze fractie beschouwd kan worden als uitwisselbaar. Uit deze combinatie van Q_{max} / P_{ox} kan men afleiden welk deel van de voorraad intern wordt gebonden en welk deel extern aanwezig is.

Extern versus intern gebonden fosfaat

Figuur 21 laat zien dat de hoeveelheid extern-gebonden fosfaat vaak relatief klein is ten opzichte van het fosfaat dat intern gebonden is. Ook zien we dat de fractie aan extern-gebonden P lager is in gronden rijk aan organische stof zoals in veengronden. Dit kan niet of onvoldoende verklaard worden uit een toename van de hoeveelheid organische stof op de bodemoppervlakken omdat de desorptiesnelheid of k_d -waarde voor veengronden niet of weinig anders is dan voor de andere grondsoorten (Fig.18). Het verband tussen de extern gebonden P-fractie en het organisch stofgehalte kan er op duiden dat de (nano)domeinen groter worden bij toename van de hoeveelheid organische stof. Hierdoor neemt de verhouding tussen fosfaat gebonden aan de externe en interne oppervlakken af. Een relatief kleine fractie aan extern oppervlak betekent dat de relatief deeltjes groot zijn. Het gevolg hiervan is dat het interne transport van fosfaat gemiddeld over een grotere afstand moet verlopen en daardoor zal de snelheid waarmee deze pool kan worden geleegd bij onttrekking afnemen. Dit wordt gevonden als we bij analyse van de data van Lookman et al. (1995) met dit inzicht analyseren.

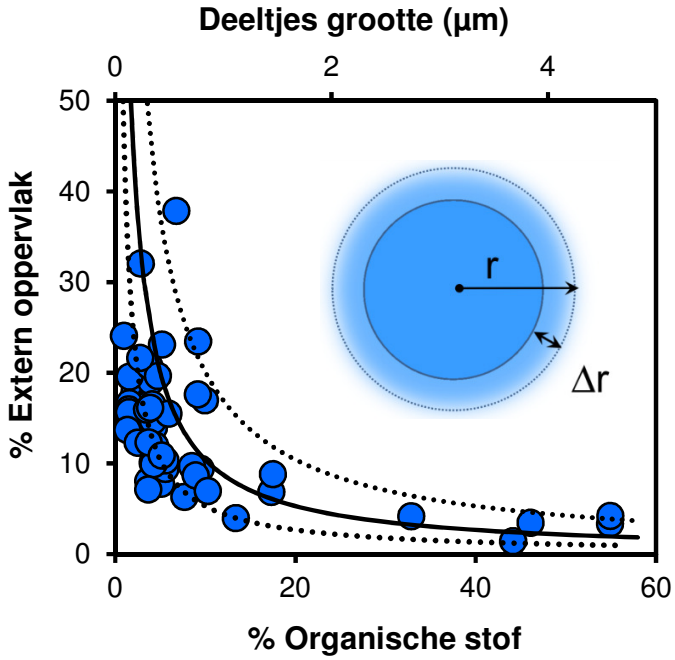


Fig.21. De fractie aan extern gebonden fosfaat is laag en is kleiner in gronden et een hoog organisch stofgehalte (symbolen). NB $P_{extern} \equiv Q_{max} / P_{ox}$. Extern gebonden fosfaat desorbeert uit een geringe zone van een aggregaat. De relatieve fosfaatvoorraad in deze uitputtingszone is afhankelijk van de deeltjesgrootte (d=2r) en de dikte van onttrekking (Δr). De lijnen geven het verband weer tussen de grootte van deeltjes en het relatieve volume van de uitputtingszone. De doorgetrokken lijn is voor een aangenomen dikte van onttrekking Δ r =15 nm en de gestippelde lijnen voor een zone die een factor 2 groter en kleiner is. De nano-domeinen hebben in dit model een grootte in de range van nm tot µm en zijn dus vele malen kleiner dan macroscopische aggregaten van grond en bodemleven, zoals geïllustreerd in Fig.7.

Variatie in grootte organo-oxide domein

Men kan een schatting maken van de potentiële grootte van de nano-domeinen met een eenvoudig sferisch oppervlakmodel (Inzet in Fig.21) waarmee de verhouding tussen het volume van een buitenste laag met extern gevonden P en het volume van het deeltje als geheel wordt berekend. De lijnen geven de relatie tussen de relatieve hoeveelheid fosfaat gebonden in een dunne laag aan het oppervlak en de grootte van het aggregaat. Deze relatie hang af van de dikte van de desorptielaag. De doorgetrokken lijn is voor een gekozen dikte van 15 nm en de gestippelde lijnen voor een factor twee hoger of lager. Bij de gekozen dikte van de desorptielaag is de schaal van de deeltjesgrootte typisch d = 0 - 5 µm, waarbij voor veel gronden geldt d < 1 µm. Is de gekozen laagdikte van desorptie 10 maal kleiner (i.e. 1.5 nm), dan is de typische schaal d = 0 – 0.5 µm en geldt voor veel gronden d < 0.1 µm. In die gevallen betreft het dus

(nano)domeinen (Fig.7). De correlatie tussen de trend van de data en het organisch stofgehalte suggereert dat de grootte van organo-oxide nano-domeinen proportioneel toeneemt met het organisch stofgehalte.

Het is gebruikelijk om ten behoeve van de evaluatie van de P-beschikbaarheid gronden te schudden met vloeistof. Hierdoor gaat de structuur met grote aggregaten verloren en valt de grond uiteen in (nano)domeinen. Een alternatieve methode is om de desorptie van fosfaat te meten in een grondkolom (Freese et al., 1999) waarover men water of een calciumchloride oplossing leidt. De desorptiesnelheidsconstante (k_{d1}) van de snelle pool (P_{ex}) is vergelijkbaar met de k_{d1} waarden gevonden door Lookman et al. (1995). De snelle pool is echter kleiner in omvang (Frossard et al., 2014). Het geschatte verschil is een factor 3. De lagere waarde van extern gebonden fosfaat (P_{ex}) suggereert dat de bodemdeeltjes in situ groter zijn, i.e. het externe oppervlak is kleiner. Bij een 3-5 maal kleiner extern oppervlak zijn de deeltjes ~3-5 maal zo groot. Het interne volume is dan ~3^3-5^3 maal groter en als deze voorraad over het drie maal grotere oppervlak moet worden getransporteerd kan de snelheid met een factor ~3^2-5^2 afnemen. Daarmee wordt dan de snelheidsconstante (k_{d2}) van de interne voorraad (P_{in}) lager zijn. De gevonden k_{d2} waarden zijn in de orde van een factor 10-100 lager, wat past bij dit beeld.

Volume- of massa-basis?

Bij gronden kan er een groot verschil zijn in massa grond (kg) per volume eenheid (m^3), i.e. de bulkdichtheid. De bulkdichtheid varieert sterk met organisch stofgehalte. Bij toename van het organisch stofgehalte neemt de bulkdichtheid af van ongeveer 1.5 g cm^3 tot bijvoorbeeld 0.3 g cm^3 in strooisel of veen. De opname van fosfaat in de rhizosfeer is in de eerste plaats een volume gerelateerd transportproces. Daarbij is de fosfaat-beschikbaarheid per volume-eenheid van belang en om deze reden verdient uitdrukking van de fosfaatvoorraad per volume-eenheid de voorkeur.

In de P_w-bepaling is dit impliciet een onderdeel van het protocol. Men neemt niet een zekere massa aan grond maar een volume aan grond. Daardoor wordt impliciet de droge bulkdichtheid geïntroduceerd. Bij de extractie met Fh-papierstrip wordt een massa aan grond ingewogen. Daarom verdient het de voorkeur om de uitkomst in mmol/kg grond te corrigeren voor variatie in bulkdichtheid en uit te drukken in bijvoorbeeld mmol/L grond. Ongepubliceerde experimenten bevestigen dat meting van de chemische beschikbaarheid uitgedrukt per volume

beter gerelateerd kan worden aan de fosfaatopname door gras (Holcus lanatus, gestreepte witbol) uit gronden die een grote variatie in organisch stofgehalte (5-95%) hebben.

6.3 Competitieve extractiemethoden

Er zijn veel methoden voorgesteld om de fractie van biobeschikbaar fosfaat te bepalen. Een belangrijk deel van deze methoden is gebaseerd op het toevoegen van een stof die via competitie om dezelfde bindingsplaatsen dit fosfaat deels of geheel te verwijderen. Voorbeelden hiervan zijn de toevoeging van natrium (bi-)carbonaat (Olsen bepaling) of ammonium-lactaat (PAL bepaling). In andere gevallen, zoals bij de oxalaatextractie, probeert men ook de reactieve oxidefractie op te lossen.

Verwijderen van bindingsplekken

Bij de oxalaatextractie worden competitieve ionen toegevoegd ook in staat zijn fosfaatbindingsplekken te verwijderen door het oplossen van de reactieve fractie van Fe en Al (hydr)oxiden. Het oxalaat ($C_2O_4^{2-}$) vormt goed oplosbare complexen met Fe en Al ionen. De overgebleven oppervlakken hebben een van meer kristallijn karakter. Het fosfaat wordt daar door oxalaat verwijderd waarbij het werkt als competitor. Bovendien kan oxalaat Ca^{2+} ionen verwijderen door de vorming van een Ca-oxalaat neerslag. Hierdoor stijgt de desorptie (Sectie 4). Door deze gecombineerde actie wordt vrijwel al het anorganisch fosfaat vrijgemaakt. Dit fosfaat is in de bodem in principe gewoon uitwisselbaar (Hiemstra et al., 2010a) en is voor een belangrijk deel (> ~ 70%, Fig.21) gebonden aan de interne oppervlakken van de domeinen met nanodeeltjes. Een ander voorbeeld waarbij oplossen met rol speelt is de EDTA extractie met een acetaat pH buffer. EDTA (Ethyleen-diamine-tetra-azijnzuur) is in staat Fe en Al ionen te complexeren en daardoor lossen Fe en Al (hydr)oxiden deels op en komt fosfaat vrij.

In geval van extracties waarbij fluorionen (F^-) worden toegevoegd kan de Ca^{2+} concentratie ook sterk worden verlaagd door neerslagvorming van een vast CaF_2 mineraal (fluoriet). Bovendien kunnen fluorionen optreden als competitor door te binden aan oxide oppervlakken (Hiemstra and Van Riemsdijk, 2000). Bij de P-Bray methode wordt naast F- ook zuur toegevoegd waardoor HF wordt gevormd. Dit lost Fe^{3+} en Al^{3+} op door vorming van

oplosbare F-complexen. Alle drie mechanismen zullen de fosfaatconcentraties in het extract kunnen verhogen, i.e. methoden kunnen dus gebaseerd zijn op mengvormen van mechanismen waarmee fosfaat wordt vrijgemaakt.

Olsen extractie

Omdat Olsen internationaal een grote populariteit geniet voor het schatten van de fosfaatbeschikbaarheid ten behoeve van natuurontwikkeling (Ceulemans et al., 2014; Gilbert et al., 2009; Smolders et al., 2008) wordt deze methode verder toegelicht.

Bij de Olsen-extractie (Olsen et al., 1954) wordt een oplossing met 0.5 M $NaHCO_3$ met pH=8.5 gebruikt. Bij deze conditie is kalk zeer slecht oplosbaar. Hierdoor daalt de Ca^{2+} concentratie zeer sterk. In het 0.5 M $NaHCO_3$ extract van pH = 8.5 is de berekende calciumconcentratie $\log[Ca^{2+}] = -5.3$ bij evenwicht met calciumcarbonaat ($CaCO_3$). Bij een sterk verlaagde Ca^{2+} concentratie wordt fosfaat veel minder sterk gebonden aan oxideoppervlakken en komt daardoor vrij (Sectie 4). Het calciumniveau is vergelijkbaar met die in P_w extracten (Fig.15). Bovendien is in deze extractie de pH sterk verhoogd waardoor de oxideoppervlakken hun positieve lading verliezen en dit leidt tot desorptie van fosfaat. Ook vindt er binding van CO_3^{2-} ionen aan het oppervlak plaats met bijbehorende competitie (Rahnemaie et al., 2007). Deze driedubbele werking leidt tot een sterke desorptie. Metingen van de desorptiesnelheid laten zien dat in grond een evenwicht kan worden bereikt in ongeveer 10 dagen (Hiemstra et al., 2010a). Toch blijft onder deze omstandigheden het grootste deel van de fosfaatvoorraad gebonden aan de grond. In de Olsen-bepaling is de gekozen desorptietijd slechts 0.5 uur. Er is dus sprake van niet-evenwicht.

De P_w-methode is ook een niet evenwichtsmethode. Een belangrijk verschil met de P_w methode is echter dat het fosfaat niet alleen afkomstig is van de extern gebonden fractie en wel om twee redenen. Toegevoegde bicarbonaationen kunnen gemakkelijk de bodemdeeltjes binnendringen vanwege de zeer hoge concentratie. Dit leidt intern tot desorptie en er ontstaat een grote gradiënt voor diffusie van fosfaat van binnen naar buiten. Dit proces geldt ook voor andere competitieve methoden. Bij de Olsen bepaling worden bovendien de nano-domeinen instabiel door de combinatie van hoge pH en zeer lage $[Ca^{2+}]$ waardoor organische stof goed oplosbaar

wordt wat men ziet aan de donkere kleur van de extracten. Door het veranderen van de fysische structuur ten opzichte van de extractie in water (P_w methode) verwacht men een complex verband tussen de uitkomsten van de P_w en P-Olsen bepaling en is een kwantitatieve, procesmatige interpretatie moeilijk.

Voor reeksen van kalkhoudende en kalkloze gronden in Spanje met grote verschillen in P gehalte hebben Sanchez-Alcala et al. (2014) recent laten zien dat er een (niet lineaire) relatie is tussen uitkomsten van de Olsen-extractie en de fosfaatconcentratie in 0.01 M $CaCl_2$ Extract. Het correlatieve verband kan worden uitgelegd als een capaciteit-intensiteit relatie met een schijnbare adsorptie-isotherm. Deze kan worden beschreven met de zogenaamde Freundlich vergelijking, i.e. $Q = K_F C^n$ waarin Q de hoeveelheid gebonden fosfaat is en C de evenwichtsconcentratie is. De coëfficiënt n is typisch kleiner dan 1 ($n \sim 0.5$). De gevonden correlatie is goed bij fitten op de dubbel-logaritmische schaal maar beschrijving op de lineaire schaal is beduidend minder. Bovendien is er geen sprake van evenwicht en daarmee is het concept van adsorptie-isotherm onduidelijk.

6.4 Meten van biobeschikbaarheid van fosfaat

Extracties van fosfaat worden gebruikt als maat voor de biobeschikbaarheid. Over het algemeen, past men een enkelvoudige extractie toe als maat voor de biobeschikbaarheid. Bij vergelijking van de fosfaatopname door planten met een bodemchemische extractie wordt de P_w bepalingsmethode traditioneel gezien als de meest succesvolle maat (Van der Paauw, 1971; Van der Paauw et al., 1971). De landbouwkundige beoordeling van de P toestand is weergegeven in Tabel 1. De P_w-methode is ook zeer goed in staat om de P-extractie door gras op een zandige bodem te beschrijven (Koopmans et al., 2004). De P_w-bepaling is getoetst voor bemeste landbouwkundige bodemsystemen waarbij de fosfaattoestand relatief hoog. Bij lage P beschikbaarheid kunnen biologische factoren een belangrijke rol gaan spelen, bijvoorbeeld bij samenwerking van specifieke planten met mycorrhiza schimmels. Ook kunnen mengsels van plantensoorten leiden door een grotere benutting van fosfaat door complementair gebruik van verschillende P bronnen of wederzijdse samenwerking in een plantengemeenschap (Hinsinger et al., 2011; Li et al., 2007; Olff and Pegtel, 1994). Deze biologisch georiënteerde processen zijn additioneel aanwezig en niet, of mogelijk alleen indirect, gerelateerd aan de fosfaatbeschikbaarheid zoals getest met de P_w extractie die de beschikbaarheid van extern gebonden fosfaat meet. De mate van benutting van de extern gebonden fractie is dan het gevolg van specifieke verschillen in response van plantensoorten op P (co-) limitatie. Bij eenzelfde chemische beschikbaarheid kunnen daarom plantengemeenschappen mogelijk toch grote verschillen vertonen in bijvoorbeeld biodiversiteit (Ceulemans et al., 2014). Bij een lage biomassaproductie neemt het percentage nutriëntenarme soorten toe (Sival et al., 2004).

We hebben laten zien dat de P_w-bepalingsmethode vergelijkbaar kan zijn met de extractie met Fh papierstrip bij een juist gebruik met verwijdering van gronddeeltjes in beide methoden voorafgaande aan de analyse van het geëxtraheerde fosfaat. Een nadeel van de P_w methode ten opzichte van de Fh-strip methode is dat bij een lage P-status, zoals die in natuurterreinen kan voorkomen, de fosfaatconcentraties zo laag kunnen zijn dat ze moeilijk meetbaar zijn met de conventionele molybdeenblauwmethode. Bij een zeer lage P status is de concentratie kleiner van 1 µmol L^{-1}. Metingen van de totale P concentratie in het waterextract met ICP-MS (Induced-Coupled-Plasma Massa Spectrometrie) bieden echter geen uitkomst omdat bij lage P-

concentraties de relatieve bijdrage van opgelost organisch P zeer groot is (Fig.4). Een belangrijke reden voor de ontwikkeling van de Fh-strip methode was het meten van de fosfaatbeschikbaarheid in gronden met een zeer lage P status zoals o.a. in oxide-rijke tropisch bodems. Toch kan men de P_w methode toepassen bij lage beschikbaarheid door PO_4 te meten met een aangepast analysetechniek. Bij de kleuringsbepaling van PO_4 kan men gebruik maken van een moderne capillaire "hollow fiber" techniek, zoals beschikbaar in het Analytisch Laboratorium van de afdeling Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit. Met deze techniek kan de detectielimiet worden verlaagd met een factor >10-100.

Fosfaatopname wordt gereguleerd door een dynamisch proces in de rhizosfeer met o.a. diffusiekinetiek. Diffusie is een volume gerelateerd proces en daarom moet de betreffende P voorraad worden uitgedrukt per liter grond. Dit is belangrijk omdat in natuurterreinen de bulkdichtheid zeer sterk kan variëren met het organisch stofgehalte. Bij de klassieke P_w bepaling wordt dit impliciet al meegenomen door een volume aan grond te nemen en niet een massa. Bij toepassing van alle andere op capaciteit gerichte methoden (P-Fh papier, PAL, P-Olsen, P_{ox}) dient de bulkdichtheid expliciet te worden geïntroduceerd.

Toepassing van de "infinite sink" methoden geeft toegang tot de hoeveelheid snel desorbeerbaar fosfaat. Dit is een capaciteitsfactor. Er is echter veel meer fosfaat aanwezig in de bodem, de totale capaciteit. Die capaciteit is in belangrijke mate intern in de nano-domeinen vastgelegd. Deze interne fractie speelt slechts indirect een rol. Bij langzame reacties met een typische tijdschaal van enkele maanden zal het intern gebonden fosfaat in staat zijn de externe bodemoppervlakken opnieuw te voorzien van fosfaat. In veel gronden is de interne bindingscapaciteit enkele tot soms vele malen groter dan die van de buitenoppervlakken. Bovendien zal grond buiten de oorspronkelijke uitputtingszone (rhizosfeer) in belangrijke mate bijdragen. De grootte van de intern gebonden voorraad is ook van belang bij het interpreteren van een netto verandering van de P-balans in termen van fosfaat evenwichtsconcentratie. Voor beheersmaatregelen ter verlaging van de P-status en beschikbaarheid, zoals uitmijnen van de grond door maaien en afvoeren of door toevoegen van reactief ijzeroxide is inzicht in capaciteit een essentiële vraag. Deze totale capaciteit kan het beste worden bepaald door het meten van de hoeveelheid fosfaat die kan worden vrijgemaakt met de oxalaatextractie.

Extractiemethoden die op een juiste wijze de evenwichtsconcentratie benaderen zoals 1:2 extractie met water of de 0.01 M $CaCl_2$ hebben het nadeel dat wel de intensiteit van de belading

(mol per m^2 oppervlak) maar niet de capaciteit wordt gemeten, terwijl deze laatste meer bepalend is voor de opname. Bepalingen van de evenwichtsconcentratie bij directe onttrekking van water aan een bodem heeft ditzelfde nadeel. Dit geldt ook voor het gebruik van anionwisselaars. Daarom kunnen deze methode als niet voldoende geschikt worden beschouwd.

Men kan ook kiezen voor een enkelvoudige extractie waarbij P verwijderd wordt met het toevoegen van stoffen zoals fluorionen, citroenzuur, lactaat- of carbonaationen. Hierbij verwijdert men een niet goed gedefinieerde hoeveelheid fosfaat afkomstig van zowel de extern als de intern gebonden fractie. In de meeste gevallen is de voorspelbaarheid met deze methoden (te) gering, zoals hieronder geïllustreerd wordt.

Experimentele P beschikbaarheid bij een lage P status

Voor grondmonsters, verzameld uit een 12-tal natuurterreinen (o.a. Achterbergse hooilanden, Bennekomse Meent, Blauwe hel, de Bruuk, Drentse Aa. Korenburger Veen, Wisselse Veen, Veenkampen), is de groei van Holcus lanatus (gestreepte witbol) bestudeerd met de dubbele pottechniek (Janssen, 1990; Olff and Pegtel, 1994). Bij de dubbele potproeftechniek moet door de plant het fosfaat worden onttrokken uit 200 cm^3 grond terwijl alle andere nutriënten uit een daaronder gelegen reservoir met voedingsoplossing kunnen worden opgenomen. De P waardering in de onderzochte terreinen is zeer laag (49 %) of laag (37%) op basis van de criteria voor de gemiddelde PSI waarden (Tabel 1), die correlatief zijn afgeleid uit een dataset van Schoumans et al. (1991). Er is in de dubbele-pot proef sprake van een zeer hoge worteldichtheid die vergelijkbaar is met die van een dichte zode. Het kleine grondvolume zal volledig worden benut (V_r /V_o = 1, vergelijking 1). Aanwezigheid of afwezigheid van symbiose met mycorrhiza is hierdoor mogelijk niet relevant. De P opname per pot (3 maanden groei met twee maal een grassnede) is gerelateerd aan de chemische fosfaatbeschikbaarheid, gemeten met een reeks van bepalingsmethoden. Het betreft ongepubliceerde resultaten.

In Tabel 2 zijn de correlatiecoëfficiënten opgenomen die de kwaliteit van de gevonden lineaire verbanden beschrijven tussen P opname en de uitkomst van een enkelvoudige extractie. De extractie met de Fh-strippen is significant beter dan die van de andere methoden. De kwaliteit van beschrijving met P-oxalaat, P-Olsen, en PAL is lager maar vergelijkbaar in kwaliteit (R^2 ~ 0.6. De bepaling met P_w is niet uitgevoerd, maar gezien de zeer sterke overeenkomst met de extractie met de Fh-strip mag een zeer goede correlatie worden gewacht bij toepassing van die

methode. Deze data voor gronden in natuurterreinen bevestigen het succes van “infinite sink” methoden zoals eerder al uit veel klassiek onderzoek aan landbouwgronden is gebleken (Van der Paauw, 1971; Van der Paauw et al., 1971). Opgemerkt kan worden dat er een niet lineair verband bestaat tussen de P beschikbaarheid en de biomassaproductie. Bij hoger P beschikbaarheid en voldoenden andere nutriënten wordt een limiet bereikt.

Tabel 2 Correlatie coëfficiënten bij enkelvoudige regressie voor lineaire verbanden tussen de P opname door Holcus lanatus (P per pot) en de chemische extractie uitgedrukt in mmol/mL grond.

Methode	**R^2**
Fh-strip (4)	0.92
P-oxalaat	0.66
P-Ammonium Lactaat (PAL)	0.63
P-Olsen	0.58
P-citroenzuur	0.37
P-Bray	0.20

Voor de relatie tussen biodiversiteit en P status gebruikt men recent de P-Olsen bepaling (Ceulemans et al., 2014; Gilbert et al., 2009). Bij een extractie van 100-150 mg P /kg of meer hebben Noordwest Europese graslanden ~5-20 plantensoorten per 4 m^2 (Ceulemans et al., 2014), maar bij een lagere P-status (<50 mg P /kg) kan dit oplopen tot ~ 40 per 4 m^2. Gilbert et al. (2009) vond in een kleinere studie een soortenrijkdom variërend met ~5- 25 op 1 m^2 afhankelijk van de extraheerbaar met de Olsen methode variërende van 3 tot 13 mg P/kg.$$$

De gronden uit de bemonsterde Nederlandse natuurterreinen hadden een lage beschikbaarheid volgens P-Olsen, variëren tussen ~ 5 en 50 mg P /kg. Dergelijke waarden zijn typisch voor locaties met een mogelijke hoge biodiversiteit. Voor deze gronden met een lage P status hebben we echter laten zien dat een methode, gebaseerd op een infinite sink principe, superieur is voor de evaluatie van de biobeschikbaarheid met Holcus Lanatus in vergelijking met andere methoden zoals PAL, P-oxalaat, en P-Olsen (Tabel 2). De methode is een maat voor de snel beschikbare fractie. In Tabel 1 is een bijbehorende fosfaatverzadigingsindex (PSI) waarde berekend. Deze waarde is echter een gemiddelde, afgeleid uit een correlatie tussen P_w en PSI.

Correlatie van methoden van extractie

Twee uitgebreide data sets van fosfaatextracties van Nederlandse landbouwgronden met n_1=3826 en n_2=585, verzameld met routineanalyse (Reijneveld et al., 2014), laten zien dat de uitkomsten van de P_w bepaling slechts gedeeltelijk correleren met die van P-$CaCl_2$ (respectievelijk R^2=0.67-0.81) en P-AL (respectievelijk R^2=0.66-0.70). Het geeft aan dat de P_w bepaling zich moeilijk laat vervangen door één van beide andere bepalingen. Bij multi-lineaire regressie kan de kwaliteit van de beschrijving van de P_w-waarde wel stijgen tot respectievelijk R^2 = 0.81 en R^2 = 0.85. Het is onvoldoende duidelijk of toepassing van deze empirische conversiefuncties tot een goede voorspelbaarheid leidt van de fosfaatbeschikbaarheid voor landbouwgewassen of natuurlijke vegetaties omdat directe tests, zoals uitgevoerd in potproeven en veldexperiment ontbreken.

7 Samenvatting en aanbeveling

Beschikbaar fosfaat is aanwezig in een zeer dunne laag (mm) rondom plantenwortels. Door symbiose met mycorrhiza kan het opnameoppervlak sterk worden vergroot en wordt een groter deel van het bodemvolume benut.

Fosfaat wordt door planten en schimmel actief opgenomen waardoor er een concentratiegradiënt ontstaat. De mate waarin deze gehandhaafd kan blijven gedurende een vrij korte periode van onttrekking (maximaal enkele dagen) wordt bepaald door de nalevering door de grond. Slechts een geringe hoeveelheid fosfaat is voldoende snel beschikbaar. Deze fractie is gebonden aan de buitenzijde van nano-domeinen. De grootte van deze fosfaatfractie is gekoppeld aan zowel de hoeveelheid extern oxide-oppervlak, bepaald door de fysische microstructuur van de bodemdeeltjes, en als ook de mate van belading van deze oppervlakken met fosfaat. Deze belading hangt enerzijds af van de poriewatersamenstelling en anderzijds van de hoeveelheid organische stof gebonden aan de oppervlakken. De twee belangrijkste variabelen in de oplossing zijn de fosfaat- en de calciumconcentratie. De pH heeft een ondergeschikte rol. De grootte van de labiele fractie kan gemeten worden met “infinite-sink” methoden. Extractie met reactief ijzeroxide (ferrihydrite) aanwezig op filtreerpapier is daarvan het ultieme voorbeeld. De klassieke P_w methode is een andere variant van de “infinite-sink” methodiek. Zoals uit onze analyse blijkt, is de P_w methode gebaseerd op een goed definieerbaar proces, hoewel de ontwikkeling ervan vooral empirisch is geweest.

In de Nederlandse landbouw is de biobeschikbaarheid van fosfaat traditioneel geëvalueerd met de zogenaamde P_w methode (Sissingh, 1971). Deze succesvolle methode is uitgebreid getest (Van der Paauw, 1971; Van der Paauw et al., 1971). Een eigen niet-gepubliceerde studie van de biobeschikbaarheid van fosfaat met Holcus lanatus laat zien dat de “infinite sink” methode zeer goed (R^2=0.92) de biobeschikbaarheid kan beschrijven in gronden uit Nederlandse natuurterreinen met een grote variatie in P status, lopend van zeer laag tot hoog. Voor een hoge kwaliteit van beschrijving is het van belang de extractiegegevens uit te drukken per volume-eenheid grond. Indien men dit achterwege wordt de relatie met opname door planten beduidend slechter beschreven, vooral indien de gronden sterk variëren in organische stof en de daarbij behorende sterke variatie in bulkdichtheid. Indien P_w in de dubbele potproef de P_w wordt uit

gedrukt per massa grond in plaats van volume, daalt de kwaliteit van beschrijven van $R^2 = 0.92$ naar $R^2 = 0.64$.

Andere methoden die de beschikbare P-voorraad trachten te meten, zoals P-Olsen, P-oxalaat, en PAl zijn als enkelvoudige bepalingsmethode veel minder geschikt. Ze zijn niet instaat de biobeschikbaarheid fosfaat goed te beschrijven. Extracties die beogen de evenwichtsconcentratie te meten, zijn weinig zinvol als enkelvoudige maat voor biobeschikbaarheid van fosfaat. De 0.01 M $CaCl_2$ methode heeft daarbij het nadeel dat voor de beoogde toepassing in natuurterreinen de concentraties relatief zeer laag kunnen zijn vanwege de hoge Ca^{2+} concentratie en de gekozen schudverhouding. Een beter alternatief is dan een extractie met water bij een grond: vloeistof verhouding van 1:2 in combinatie met een meting van de EC als schatter van de opgeloste Ca^{2+} concentratie. Echter men mag verwachten dat de kwaliteit van de relatie met P opname (te) gering. Slechts door middel van combinatie met op capaciteit gerichte extractiemethodes kan door middel van empirische conversiefuncties met multi-lineaire regressie de fosfaatbeschikbaarheid welklicht beter worden benaderd.

In het kort, de P_w methode en de Fh-papier methode zijn conceptueel en praktisch de betrouwbaarste maat voor de biobeschikbaarheid terwijl de P-oxalaat extractie een goede maat is voor de totale aanwezige voorraad die beïnvloedbaar is met beheersmaatregelen.

8 Literatuur

Bates, T. and Lynch, J. (2001) Root hairs confer a competitive advantage under low phosphorus availability. Plant Soil 236, 243-250.
Ceulemans, T., Stevens, C.J., Duchateau, L., Jacquemyn, H., Gowing, D.J.G., Merckx, R., Wallace, H., van Rooijen, N., Goethem, T., Bobbink, R., Dorland, E., Gaudnik, C., Alard, D., Corcket, E., Muller, S., Dise, N.B., Dupre, C., Diekmann, M. and Honnay, O. (2014) Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. Glob. Change Biol. 20, 3814-3822.
Chambers, B.J., Critchley, J.A., Fowbert, A., Bhoga, l.A. and Rose, S.C. (1999) Soil nutrient status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. . ADAS Gleadthorpe & Newcastle, UK, p. 71.
Chardon, W.J., Menon, R.G. and Chien, S.H. (1996) Iron oxide impregnated filter paper (P-i test): A review of its development and methodological research. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46, 41-51.
Chardon, W.J., Pleijter, M., van der Salm, C., Schoumans, O.F. and Oenema, O. (2007) Milieukundige gevolgen van de aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw. Alterra.
del Campillo, M.C., Torrent, J. and Loeppert, R.H. (1992) The reactivity of carbonates in selected soils of southern Spain. Geoderma 52, 149-160.
Filius, J.D., Lumsdon, D.G., Meeussen, J.C.L., Hiemstra, T. and Van Riemsdijk, W.H. (2000) Adsorption of Fulvic Acid on Goethite. Geochim. Cosmochim. Acta 64, 51-60.
Freese, D., Lookman, R., Merckx, R. and van Riemsdijk, W.H. (1995) New Method for Assessment of Long-Term Phosphate Desorption from Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 59, 1295-1300.
Freese, D., Weidler, P.G., Grolimund, D. and Sticher, H. (1999) A flow-through reactor with an infinite sink for monitoring desorption processes. J. Environ. Qual. 28, 537-543.
Frossard, E., Demaria, P., Sinaj, S. and Schärer, M. (2014) A flow-through reactor to assess potential phosphate release from agricultural soils. Geoderma 219–220, 125-135.
Frossard, E., Fardeau, J.C., Ognalaga, M. and Morel, J.L. (1992) Influences of agricultural practices, soil properties and parent material on the phosphate buffering capacity of cultivated soils developed in temperate climates. European Journal of Agronomy 1, 45-50.
Giesen and Geurts (2004) De fosfaat- en basentoestand van de bodem in de Hooilanden in Binnenveld-Oost 2004, met plagadvies. Giesen & Geurts Biologische projecten, Ulft.
Giesen and Geurts (2006a) De fosfaat- en basentoestand van de bodem in het Renkumse beek-dal. Inrichtingsmogelijkheden voor het natuurontwikkelingsgebied Renkumse beekdal op basis van de fosfaat- en basenverzadiging. Giesen & Geurts Ecologisch adviesbureau, Ulft.
Giesen and Geurts (2006b) De fosfaat- en basentoestand van de bodem in percelen langs de Enkele Wiericke. Zuidzijderpolder, Polder Reeuwijk, Polder Oukoop en Negen Viertel (Zuid-Holland). Ecologisch adviesbureau Giesen & Geurts, Ulft.
Gilbert, J., Gowing, D. and Wallace, H. (2009) Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances. Biological Conservation 142, 1074-1083.
Hiemstra, T. (2013) Surface and mineral structure of ferrihydrite. Geochim. Cosmochim. Acta 10, 316–325.
Hiemstra, T. (2015) Formation, stability, and solubility of metal oxide nanoparticles: Surface entropy, enthalpy, and free energy of ferrihydrite. Geochim. Cosmochim. Acta 158, 179–198.
Hiemstra, T., Antelo, J., Rahnemaie, R. and van Riemsdijk, W.H. (2010a) Nanoparticles in natural systems I: The effective reactive surface area of the natural oxide fraction in field samples. Geochim. Cosmochim. Acta 74, 41-58.
Hiemstra, T., Antelo, J., van Rotterdam, A.M.D. and van Riemsdijk, W.H. (2010b) Nanoparticles in natural systems II: The natural oxide fraction at interaction with natural organic matter and phosphate. Geochim. Cosmochim. Acta 74, 59-69.
Hiemstra, T., Barnett, M.O. and Van Riemsdijk, W.H. (2007) Interaction of Silicic Acid with Goethite. J. Colloid Interf. Sci. 310, 8-17.
Hiemstra, T., Mia, S., Duhaut, P.B. and Molleman, B. (2013) Natural and Pyrogenic Humic Acids Interacting with Phosphate on Goethite: Modeling and Application to Soils. Environ. Sci. Technol. 47, 9182-9189.
Hiemstra, T. and Van Riemsdijk, W.H. (1996a) A surface Structural Approach to Ion Adsorption: The Charge Distribution (CD) Model. J. Colloid Interf. Sci. 179, 488-508.
Hiemstra, T. and Van Riemsdijk, W.H. (2000) Fluoride adsorption on goethite in relation to different types of surface sites. J. Colloid Interf. Sci. 225, 94-104.
Hiemstra, T. and van Riemsdijk, W.H. (2006) Biogeochemical speciation of Fe in ocean water. Mar. Chem. 102, 181-197.
Hiemstra, T., Venema, P. and Van Riemsdijk, W.H. (1996b) Intrinsic proton affinity of reactive surface groups of metal (hydr)oxides: The bond valence principle. J. Colloid Interf. Sci. 184, 680-692.
Hinsinger, P. (1998) How Do Plant Roots Acquire Mineral Nutrients? Chemical Processes Involved in the Rhizosphere, Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 225-265.
Hinsinger, P. (2001) Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant Soil 237, 173-195.
Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., Tang, X. and Zhang, F. (2011) P for Two, Sharing a Scarce Resource: Soil Phosphorus Acquisition in the Rhizosphere of Intercropped Species. Plant Physiology 156, 1078-1086.

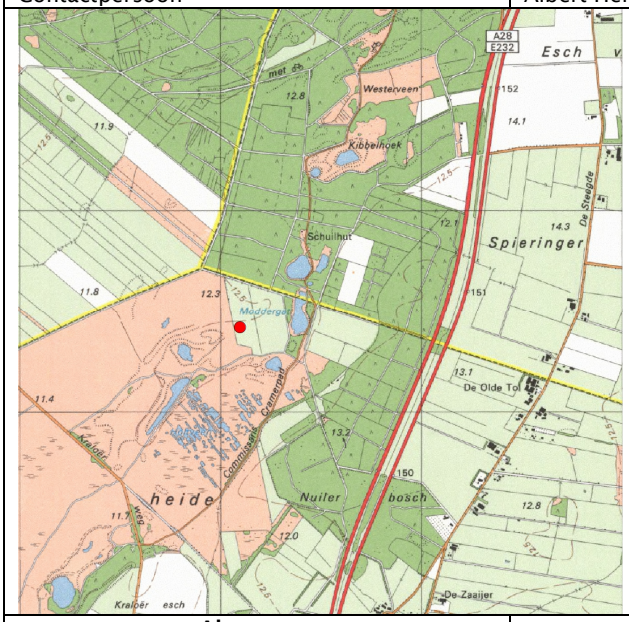
Holford, I. and Mattingly, G. (1975) Surface areas of calcium carbonate in soils. Geoderma 13, 247-255.
Janssen, B.H. (1990) A double pot technique as a tool in plant nutrient studies Kluwer academic Publishers.
Janssens, F., Peeters, A., Tallowin, J.R.B., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Fillat, F. and Oomes, M.J.M. (1998) Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. Plant Soil 202, 69-78.
Kemmers, R.H., Kuiters, A.T., Slim, P.A. and Bakker, P. (2006) Is ontgronden noodzakelijk voor natuurherstel op voormalige landbouwgronden? De Levende Natuur 107, 170-175.
Kemmers, R.H., van Delft, S.P.J. and Jansen, P.C. (2001) Productiviteit van korte vegetaties en beperkende factoren in relatie tot voedselrijkdom en vochttoestand van natuurterreinen : basisonderzoek voor ecologische nutriëntenmodellen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.
Kinniburgh, D.G., van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K., Borkovec, M., Benedetti, M.F. and Avena, M.J. (1999) Ion binding to natural organic matter: competition, heterogeneity, stoichiometry and thermodynamic consistency. Colloid Surf. A 151, 147-166.
Koopmans, G.F., Chardon, W.J., Dekker, P.H.M., Romkens, P. and Schoumans, O.F. (2006) Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. Soil Sci. 171, 103-116.
Koopmans, G.F., Chardon, W.J., Ehlert, P.A.I., Dolfing, J., Suurs, R.A.A., Oenema, O. and van Riemsdijk, W.H. (2004) Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. J. Environ. Qual. 33, 965-975.
Kruse, J., Abraham, M., Amelung, W., Baum, C., Bol, R., Kühn, O., Lewandowski, H., Niederberger, J., Oelmann, Y., Rüger, C., Santner, J., Siebers, M., Siebers, N., Spohn, M., Vestergren, J., Vogts, A. and Leinweber, P. (2015) Innovative methods in soil phosphorus research: A review. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178, 43-88.
Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuyper, T.W. and van Breemen, N. (2001) Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. Trends in Ecology & Evolution 16, 248-254.
Li, L., Li, S.-M., Sun, J.-H., Zhou, L.-L., Bao, X.-G., Zhang, H.-G. and Zhang, F.-S. (2007) Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104, 11192-11196.
Li, X.-L., George, E. and Marschner, H. (1991) Phosphorus Depletion and pH Decrease at the Root-Soil and Hyphae-Soil Interfaces of VA Mycorrhizal White Clover Fertilized with Ammonium. New Phytol. 119, 397-404.
Lookman, R., Freese, D., Merckx, R., Vlassak, K. and van Riemsdijk, W.H. (1995) Long-Term Kinetics of Phosphate Release from Soil. Environ. Sci. Technol. 29, 1569-1575.
Olff, H. and Pegtel, D.M. (1994) CHARACTERIZATION OF THE TYPE AND EXTENT OF NUTRIENT LIMITATION IN GRASSLAND VEGETATION USING A BIOASSAY WITH INTACT SODS. Plant Soil 163, 217-224.
Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. (1954) Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture Circular, pp. 1-19.
Rahnemaie, R., Hiemstra, T. and Van Riemsdijk, W.H. (2007) Carbonate adsorption on goethite in competition with phosphate. J. Colloid Interf. Sci. 315, 415-425.
Reijneveld, A., Termorshuizen, A., Vedder, H. and Oenema, O. (2014) Strategy for Innovation in Soil Tests Illustrated for P Tests. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45, 498-515.
Rietra, R.P.J.J., Hiemstra, T. and Van Riemsdijk, W.H. (2001a) Interaction of Calcium and Phosphate Adsorption on Goethite. Environ. Sci. Technol. 35, 3369-3374.
Sanchez-Alcala, I., del Campillo, M.C., Barron, V. and Torrent, J. (2014) The Olsen P/solution P relationship as affected by soil properties. Soil Use and Management 30, 454-462.
Schofield, R.K. (1955) Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus? Soils and fertilizers 18, 373-375
Schoumans, O.F., Breeuwsma, A. and El Bachrioui - Louwerse, A. (1991) De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
Schoumans, O.F. and Chardon, W.J. (2015) Phosphate saturation degree and accumulation of phosphate in various soil types in The Netherlands. Geoderma 237–238, 325-335.
Sissingh, H.A. (1971) ANALYTICAL TECHNIQUE OF PW METHOD, USED FOR ASSESSMENT OF PHOSPHATE STATUS OF ARABLE SOILS IN NETHERLANDS. Plant Soil 34, 483-&.
Sival, F.P. and Chardon, W.J. (2002) Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat : eindrapport. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.
Sival, F.P. and Chardon, W.J. (2004) Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Alterra, Wageningen.
Sival, F.P., Chardon, W.J. and van der Werff, M.M. (2004) Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat: evaluatie van verschralingsmaatregelen. Alterra, Wageningen.
Smolders, A.J.P., Lucassen, E., van der Aalst, M., Lamers, L.P.M. and Roelofs, J.G.M. (2008) Decreasing the abundance of Juncus effusus on former agricultural lands with noncalcareous sandy soils: Possible effects of liming and soil removal. Restor. Ecol. 16, 240-248.
So, H.U., Postma, D., Jakobsen, R. and Larsen, F. (2011) Sorption of phosphate onto calcite; results from batch experiments and surface complexation modeling. Geochim. Cosmochim. Acta 75, 2911-2923.
Sø, H.U., Postma, D., Jakobsen, R. and Larsen, F. (2012) Competitive adsorption of arsenate and phosphate onto calcite; experimental results and modeling with CCM and CD-MUSIC. Geochim. Cosmochim. Acta 93, 1-13.
Van der Paauw, F. (1971) EFFECTIVE WATER EXTRACTION METHOD FOR DETERMINATION OF PLANT-AVAILABLE SOIL PHOSPHORUS. Plant Soil 34, 467-&.

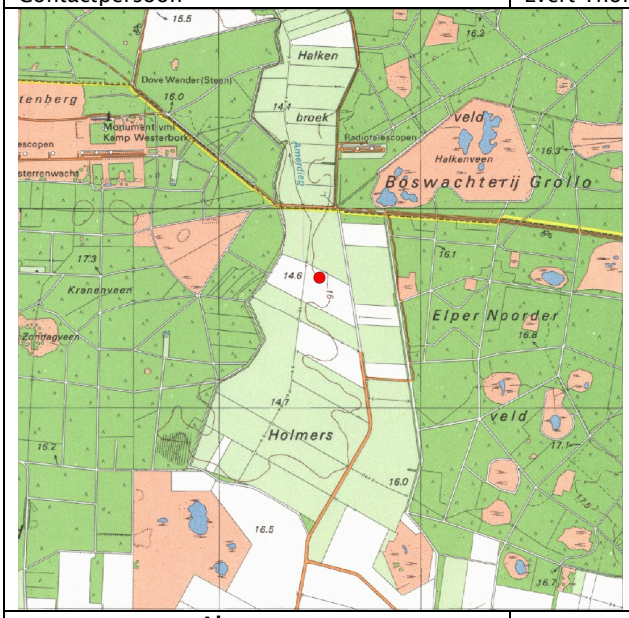
Van der Paauw, F., Sissingh, H.A. and Ris, J. (1971) An improved method of water extraction for the assessment of availability of soil phosphate : Pw value Institute for Soil Fertility, Wageningen.
van der Salm, C., Chardon, W.J., Koopmans, G.F., van Middelkoop, J.C. and Ehlert, P.A.I. (2009) Phytoextraction of Phosphorus-Enriched Grassland Soils. J. Environ. Qual. 38, 751-761.
van Erp, P.J., Houba, V.J.G. and Van Beusichem, M.L. (1998) One hundredth molar calcium chloride extraction procedure. Part I: A review of soil chemical, analytical, and plant nutritional aspects. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29, 1603-1623.
van Rotterdam, A.M.D., Temminghoff, E.J.M., Schenkeveld, W.D.L., Hiemstra, T. and van Riemsdijk, W.H. (2009) Phosphorus removal from soil using Fe oxide-impregnated paper: Processes and applications. Geoderma 151, 282-289.
Vance, C.P., Uhde-Stone, C. and Allan, D.L. (2003) Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytol. 157, 423-447.
Vanderzee, S., Fokkink, L.G.J. and Vanriemsdijk, W.H. (1987) A NEW TECHNIQUE FOR ASSESSMENT OF REVERSIBLY ADSORBED PHOSPHATE. Soil Sci. Soc. Am. J. 51, 599-604.
Wang, C.Y., Zhang, Y., Li, H.L. and Morrison, R.J. (2013) Sequential extraction procedures for the determination of phosphorus forms in sediment. Limnology 14, 147-157.
Weng, L., Vega, F.A. and Van Riemsdijk, W.H. (2011) Competitive and Synergistic Effects in pH Dependent Phosphate Adsorption in Soils: LCD Modeling. Environ. Sci. Technol. 45, 8420-8428.
Weng, L.P., Van Riemsdijk, W.H. and Hiemstra, T. (2012) Factors Controlling Phosphate Interaction with Iron Oxides. J. Environ. Qual. 41, 628-635.
Whelan, B.R., Withver, K., S.P., R., Barrow, N.J. and Bramley, R.G.V. (1994) An air brush and water to clean the iron oxide strips in the Pi soil test for phosphorus., Trans 15th Int Congress of Soil Sci. , Acapulco, Mexico, pp. 166-167.
White, R.E. and Beckett, P.H.T. (1964) Studies on the phosphate potentials of soils. Plant Soil 20, 1-16.
Wild, A. (1959) The Determination of Calcium Chloride – Soluble Phosphate in Soils. Z. Pflanzenernaehr. Dueng. Bodenk. 84, 220-224.

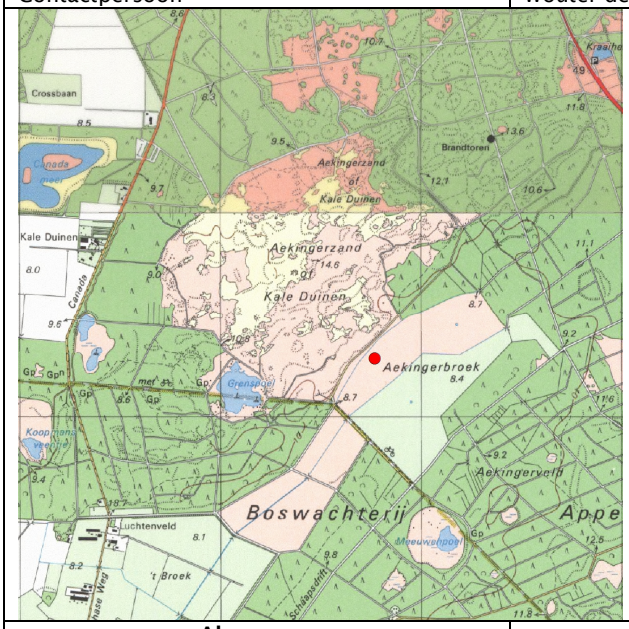
Aggenbach, C.J.S., M. Berg, J. Frouz, T. Hiemstra, L. Norda, J. Roymans, R. van Diggelen (2017). Evaluatie strategieën omgang met overmatige voedingsstoffen. OBN2017/214-NZ, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren. Driebergen.

Bijlage 3: Informatie gebied, maatregelen en beheer van de 40 geselecteerde projecten

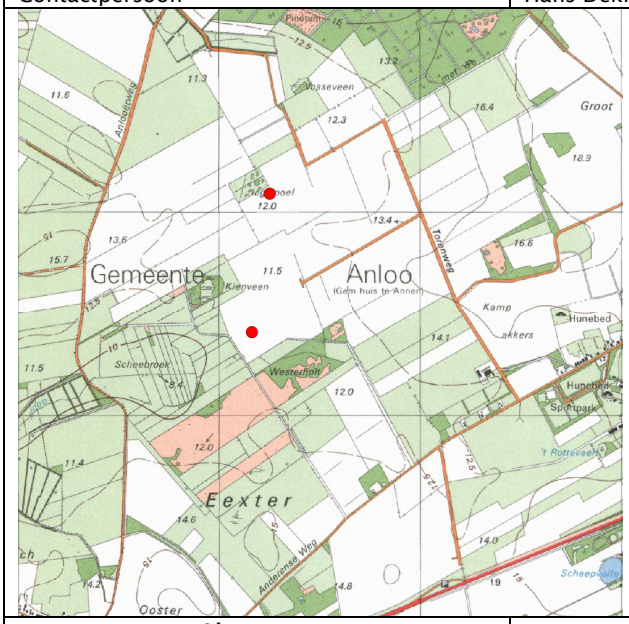
Deze bijlage bevat informatie over de uitgevoerde maatregel en het beheer van de onderzochte projecten. Het betreft informatie die door de beheerders is verstrekt.

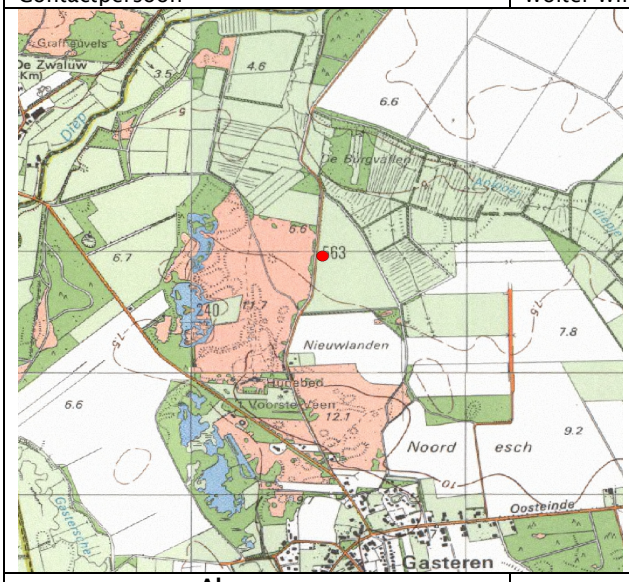
OVL01 Dwingelderveld Holtveen		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Albert Henckel	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 226095	Y: 535418
Grootte gebied	8,7	
Gebruik voor inrichting	Akkerbouw (aardappels)	
Huidig doeltype	Droog Schraalland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Begrazing**	
Moment van uitvoeren		
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Maaien en afvoeren	
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie	Niet meer	
Moment in het seizoen	Niet meer	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Schapen en runderen	
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		

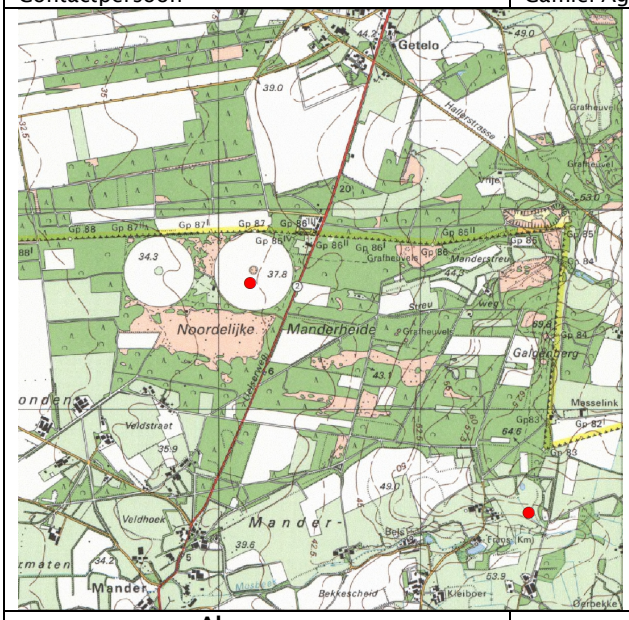
OVL02 Holmers Halkenbroek		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Evert Thomas, Paulien Arends	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 238501	Y: 547657
Grootte gebied	Halkenbroek 58 ha, Holmers 87 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland	
Huidig doeltype	Moeras, bloemrijk grasland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2001, 2002 en 2003.	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	Gemiddeld 30 cm veraard veen is afgegraven	
Waarop diepte gebaseerd?	Afgegraven tot op het beekleem en ijzerhoudende laag	
Delen met grond opgehoogd?	Nee (alleen sloten gedicht met leem)	
Ontwatering?	Aanwezige drainage is onklaar gemaakt: pvc buizen en duikers	
Hoe veranderd?	Sloten gedempt, drainage verwijdert.	
Huidige ontwatering	Alleen via Amerdiepje	
Bekalkt?	nee	
Geënt maaisel/plagsel?	nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Geen beheer	
Welk regulier beheer	Geen beheer	
Bij maaien:	*Noodoostelijk deel Holmers (gasbuis) is eerste jaren na inrichting gemaaid.*	
Frequentie	1x	
Moment in het seizoen	Tijdens bloeiperiode jakobskruiskruid (juli/aug)	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Noordoostelijk deel Holmers (gasbuis) is eerste jaren na inrichting begraasd	
Soorten beesten	koeien	
Aantal beesten per hectare	10	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Beheersvisie Holmers/Halkenbroek Directie NMF BUNSKOEK Assen 1992	
Bodemprofieldata aanwezig?	onbekend	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Niet van toepassing, eigendom	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Evaluatie hydrologische meetnet hooghalen/ Grolloo	

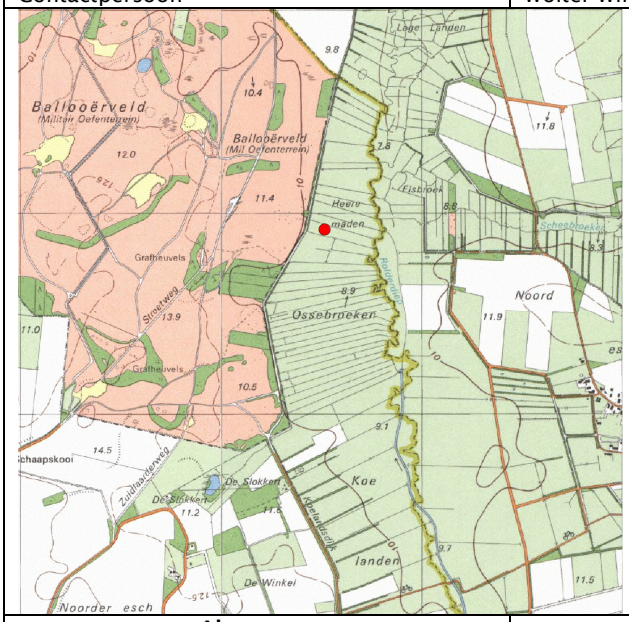
OVL03 Aekingerbroek		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Wouter de Vlieger	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 216773	Y: 549285
Grootte gebied	540 ha	
Gebruik voor inrichting	Weiland	
Huidig doeltype	Droge natte hei en kleine zegge gemeenschap (evt. heischraal)	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1991/1992	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	25 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Diepte bouwvoor	
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?	Afwatering aanvoersloot vuil water	
Hoe veranderd?	Aanvoersloot gedempt	
Huidige ontwatering	Wordt nog drinkwater gewonnen iets ten noorden broek	
Bekalkt?	Nee	
Geent maaisel plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Begrazing (lokaal maaien)	
Welk regulier beheer	Begrazen	
Bij maaien:		
Frequentie	Niet meer	
Moment in het seizoen	Niet meer	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Schapen & koeien	
Aantal beesten per hectare	S: 350/600 ha K: 15/600 ha	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Bovenloop beekdal met aanliggend stuifzand gebied vroeger kwelgebied maar door waterwinning inzijgingsgebied geworden	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Vooral bos, er is 150 ha bos gekapt	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Ja	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Buizenraai zit in DINO	
Evaluatie beschikbaar?	Ja Altenburg & Wymenga 2001	

OVL04 Eexterveld Torenweg		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Hans Dekker, Wolter Winter	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 243251	Y: 560095
Grootte gebied	8 ha	
Gebruik voor inrichting	Landbouw (niet heel intensief)	
Huidig doeltype	Blauwgrasland	
Waterregime na inrichting	Niet aangepast	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Treedt geen kwel op	
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren & extensief begraasd**	
Moment van uitvoeren	2000-2005, exacte jaar niet bekend	
Bij plaggen en afgraven	*n.v.t.*	
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	n.v.t.	
Hoe veranderd?	n.v.t.	
Huidige ontwatering	Sloten aan de rand	
Bekalkt?	n.v.t.	
Geënt maaisel/plagsel?	n.v.t.	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren & extensief begraasd	
Bij maaien:		
Frequentie	1x jaar	
Moment in het seizoen	najaar	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	jaarrond	
Soorten beesten	Schotse Hooglanders	
Aantal beesten per hectare	2-3	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Is een keer fosfaatmonster getrokken	
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Rondom nog in landbouw, aangesloten op bestaande regime	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Zie bovenstaande	
Monitoring:		
Bodemchemie?	n.v.t.	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	n.v.t.	
Evaluatie beschikbaar?	onbekend	

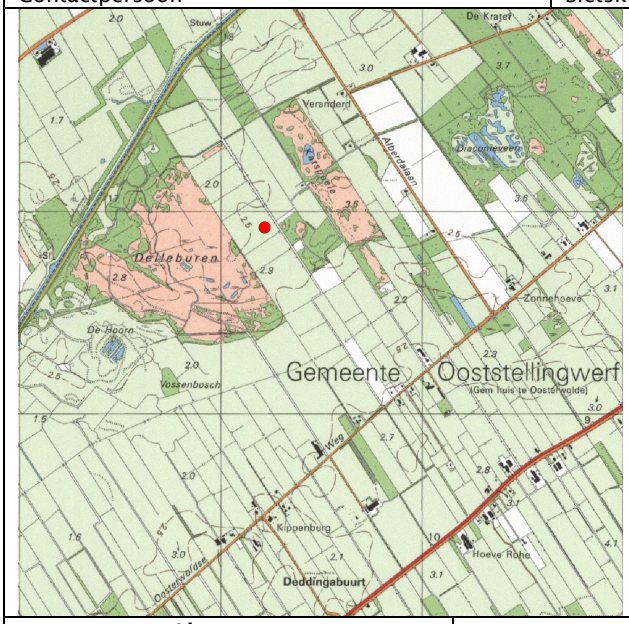
OVL05 Eexterveld Scheebroek		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Hans Dekker, Wolter Winter	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 243162	Y: 559412
Grootte gebied	32 ha (24 ha afgeplagd)	
Gebruik voor inrichting	Weide en akkers	
Huidig doeltype	Heide en heischraal grasland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Geplagd**	
Moment van uitvoeren	1993 (1994 slenken hersteld) (Volgens Bekker & Klooker 1994)	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	10 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	-	
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Plaatselijk sloten gedempt door bovengrond. Karakteristiek waterafvoer via een stelsel van stroeten hersteld.	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazen	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Schotse Hooglandrunderen	
Aantal beesten per hectare	Ca 60 in het gebied (Klooker)	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Oude opnames (volgens Bekker)	
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	Bekker, 2008; Klooker et al., 1999; Verhagen, 2007; Bakker	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Pepmeyer, 1996 (Klooker et al., 1999)	
Evaluatie beschikbaar?		

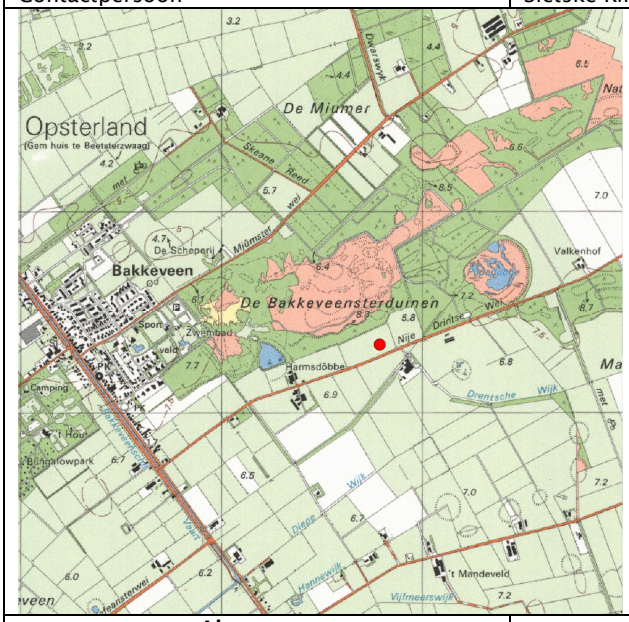
OVL06 Gasterse duinen		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Wolter Winter	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 240478	Y: 562981
Grootte gebied		
Gebruik voor inrichting	Landbouw	
Huidig doeltype	Heischraal	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Begrazen**	
Moment van uitvoeren	1990	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	Sloot aan west, zuid en oostkant	
Hoe veranderd?	Niet veranderd	
Huidige ontwatering	Zie hierboven	
Bekalkt?	n.v.t.	
Geënt maaisel/plagsel?	n.v.t.	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazen	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	jaarrond	
Soorten beesten	Schotse Hooglanders	
Aantal beesten per hectare	2-3	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	n.v.t.	
Bodemprofieldata aanwezig?	Niet, is een podzol	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Weinig kosten en passend bij omgeving	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Ja gast duinen	
Monitoring:		
Bodemchemie?	n.v.t.	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	n.v.t.	
Evaluatie beschikbaar?	onbekend	

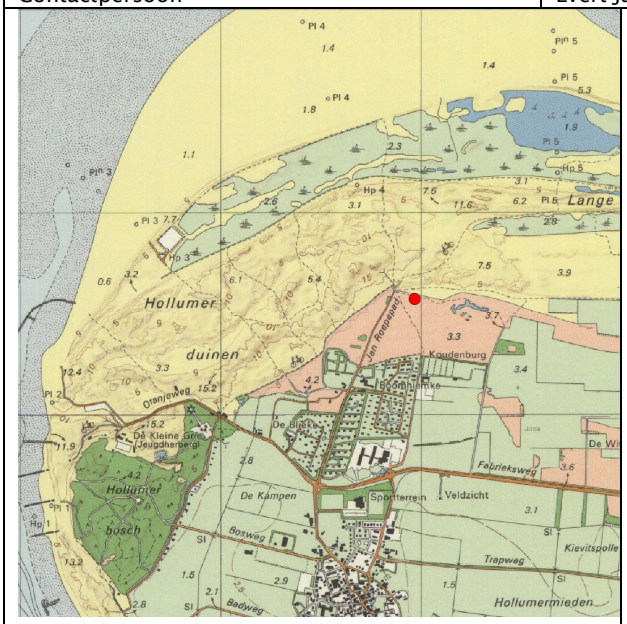
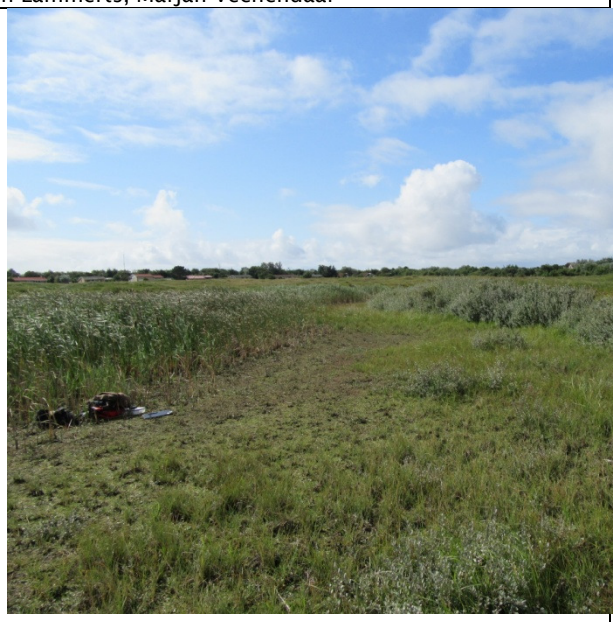
OVL07 Cirkels van Mander		
Beheerder	Landschap Overijssel	
Contactpersoon	Camiel Aggenbach, Loekie van Tweel-Groot	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 253162	Y: 497638
Grootte gebied	Totaal ongeveer 25 ha	
Gebruik voor inrichting	graanakker	
Huidig doeltype	Droog heischraal grasland / heide	
Waterregime na inrichting	inzijgingsgebied	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee, oostelijk gedeelte van de oostelijke cirkel is wel iets vochtig – door bodem wsch.	
Specificatie van maatregel:	**Graasbeheer**	
Moment van uitvoeren	1992-1998	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	20-50 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Verwijderen bouwvoor – dus de zwarte grond	
Delen met grond opgehoogd?	Ja – na inrichting in oostelijke cirkel – kunst-art-project	
Ontwatering?	Er lagen en liggen greppels om de cirkels heen, maar bodem is zo zandig dat het een inzijgingssituatie is.	
Hoe veranderd?	Qua inzijging niet veranderd	
Huidige ontwatering	inzijgingssituatie	
Bekalkt?	Nee, wel op de westelijke cirkel een spiraalvormig wandelpad aangelegd met leemhoudend materiaal	
Geënt maaisel/plagsel?	nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Niets doen	
Welk regulier beheer	Graasbeheer/maaibeheer na aantal jaren ingesteld vanwege opslag berk	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Aansluiting bij de schrale droge heide eromheen	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Ja	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Iets van monitoring uit 2002 (zie hieronder), paar jaar geleden is er nog een PKN-excursie geweest met Marcel Horsthuis (geen verslag). Er zijn wat streeplijsten met planten per cirkel en er zijn puntgegevens.	

OVL08 Ossenbroeken Maaibeheer		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Drenthe)	
Contactpersoon	Wolter Winter	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 240518	Y: 558921
Grootte gebied	1-2 ha	
Gebruik voor inrichting	Akkerbouw (aardappels)	
Huidig doeltype	Vochtig schraalland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja, vnl. in de winter	
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	Ca 1995	
Bij plaggen en afgraven	*Perceel niet geplagd*	
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	Sloten in omgeving gedempt en sommige omgevormd naar ondiepe slenken	
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering	Summier door aangepaste slenk	
Bekalkt?	nee	
Geënt maaisel/plagsel?	nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Maaien en afvoeren	
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	1x jaar	
Moment in het seizoen	September - begin oktober	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	n.v.t.	
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	n.v.t.	
Bodemprofieldata aanwezig?	n.v.t.	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	n.v.t.	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	n.v.t.	
Monitoring:		
Bodemchemie?	n.v.t.	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Omgeving zit in project “bomen in de beek”	
Evaluatie beschikbaar?	Is vegetatiekartering gedaan	

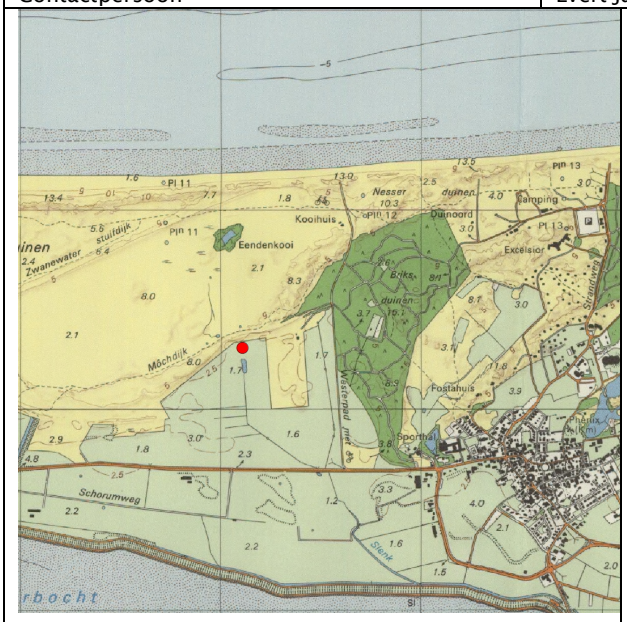
OVL09 Nuilerveld		
Beheerder	Het Drentsche Landschap	
Contactpersoon	Uko Vegter, Bertil Zoer	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 227934	Y: 533835
Grootte gebied	5,3 ha	
Gebruik voor inrichting	Bemest weiland (tot 1993 maïsakker)	
Huidig doeltype	Droge en vochtige heide	
Waterregime na inrichting	Geen oppervlakkige afwatering via greppel meer	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Niet waargenomen (Bekker), wel waarschijnlijk	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1997	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	20-40 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Tot op kaal wit zand	
Delen met grond opgehoogd?	Grond afgevoerd	
Ontwatering?	Natuurlijke inzijging	
Hoe veranderd?	Dempen sloot binnen ontgronde perceel	
Huidige ontwatering	Niet	
Bekalkt?	Niet	
Geënt maaisel/plagsel?	Niet	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Hooglanders en Schoonebeker schapen	
Aantal beesten per hectare	Hooglanders 0,1 / Schoonebekers: 0,6	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Niet	
Bodemprofieldata aanwezig?	Niet	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Afvoer bemeste bouwvoor	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Aaneengesloten voedselarm geheel van maken	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Bekker, 2008	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	-	
Evaluatie beschikbaar?	Niet	

OVL10 Dellebuursterheide		
Beheerder	It Fryske Gea	
Contactpersoon	Sietske Rintjema, Richard de Ree	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 206220	Y: 552925
Grootte gebied	25 ha	
Gebruik voor inrichting	grasland tot 1993	
Huidig doeltype	Bos, heischrale graslanden, heide en ven	
Waterregime na inrichting	Natuurlijker na inrichting	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1993	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	20 cm (Bekker zegt 20-60 cm)	
Waarop diepte gebaseerd?	Dikte van de bouwvoor	
Delen met grond opgehoogd?	Ja, rest van de grond in terrein verwerkt	
Ontwatering?	Sloten	
Hoe veranderd?	Gedempt door bovengrond	
Huidige ontwatering	Natuurlijk via	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Maaien	
Welk regulier beheer	Integrale jaarrond begrazing (zie onderstaande tabel exclusief Galloway's; begrazing naastgelegen natuurgebied Diakonievene)	
Bij maaien:		
Frequentie	Jaarlijks één keer	
Moment in het seizoen	Diep in het najaar	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Schotse Hooglandrunderen, Exmoor Pony's en Drentse Heideschapen,	
Aantal beesten per hectare	177 ha/64 beesten = 3 beesten	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Hogere delen met pitrus wel of niet maaien (in 1989 teelaarde opgebracht)	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Nee	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Ja Bekker, 2008; Klooker et al., 1999; Verhagen, 2007	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Alle peilbuisgegevens worden doorgesluisd naar DINOloket	
Evaluatie beschikbaar?	• Vegetatiekarteringen door It Fryske Gea en Buro Bakker, • Beheerplan voor: De Dellebuursterheide voor de periode 1981-1991 – P.A.M. de Wit, It Fryske Gea (1980) • Beheerplan 2000-2025 Delleboersterheide en Diaconievene – R. de Wolf & R. de Jong, Eelerwoude Ingenieursbureau B.V. (2000)	

OVL11 Bakkeveensterduinen		
Beheerder	It Fryske Gea	
Contactpersoon	Sietske Rintjema, Richard de Ree	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 214790	Y: 566340
Grootte gebied	3 ha	
Gebruik voor inrichting	Van 1960-1989 bemest grasland en deel akker	
Huidig doeltype	Natte heide	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1990	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	30-40 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Dikte van de bouwvoor (ongeveer 30 cm)	
Delen met grond opgehoogd?	Grond in terrein verwerkt	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Bovengrond in gedempte sloten	
Huidige ontwatering	Natuurlijk sinds inrichting, grenssloten (over een lengte van 950 m) zijn gedempt met teelaarde en 3 poelen zijn aangelegd. Gebiedseigen water wordt zoveel mogelijk vastgehouden. Een stuw is geplaatst bij de duiker onder de Nije Drintse Wei (peil 5,85 m + NAP?, ik hou hier bij een slag om de arm, het komt uit een beheerevaluatie van 2004).	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Ja, in 1992 is van een deel van de percelen de bovengrond losgemaakt en daar is heidemaaisel opgebracht.	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Integraal jaarrond begrazing	
Soorten beesten	Hooglanders, Exmoor Pony's en schapen	
Aantal beesten per hectare	139/ 146 beesten = 1 beest per hectare: 9 Exmoor Pony's, 7 Schotse Hooglanders, 130 Drentse heideschapen	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee.	
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee.	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Minder begrazing t.b.v. flora en vegetatie.	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Nee	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Ja Bekker, 2008; Klooker et al., 1999; Verhagen, 2007	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Alle peilbuisgegevens worden doorgesluisd naar DINOloket.	
Evaluatie beschikbaar?	Vegetatiekarteringen door Buro Bakker	

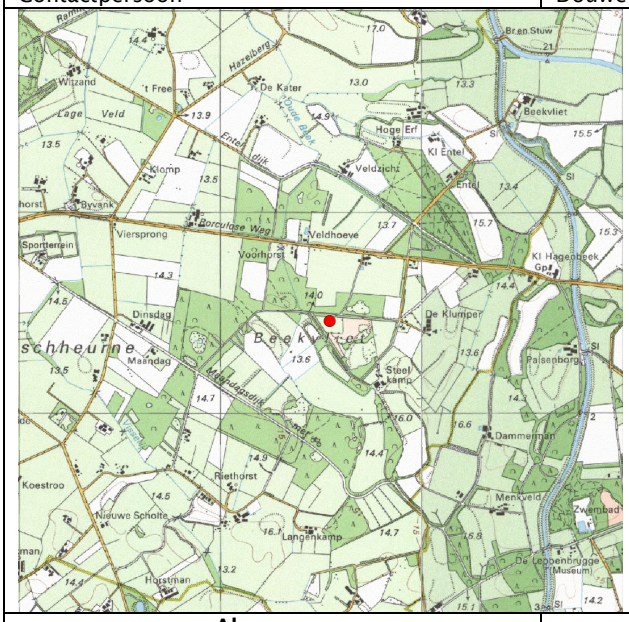
OVL12 Ameland Binnenduinrand Hollum-Ballum (Jan Roepeheide)		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Friesland)	
Contactpersoon	Evert-Jan Lammerts, Marjan Veenendaal	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 171969	Y: 607576
Grootte gebied	50-100 ha	
Gebruik voor inrichting	Landbouw en oude cultuurgrond	
Huidig doeltype	Vochtige duinheide, natte pioniervegetatie	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Geplagd**	
Moment van uitvoeren	Grotendeels 90-er jaren	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer		
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		

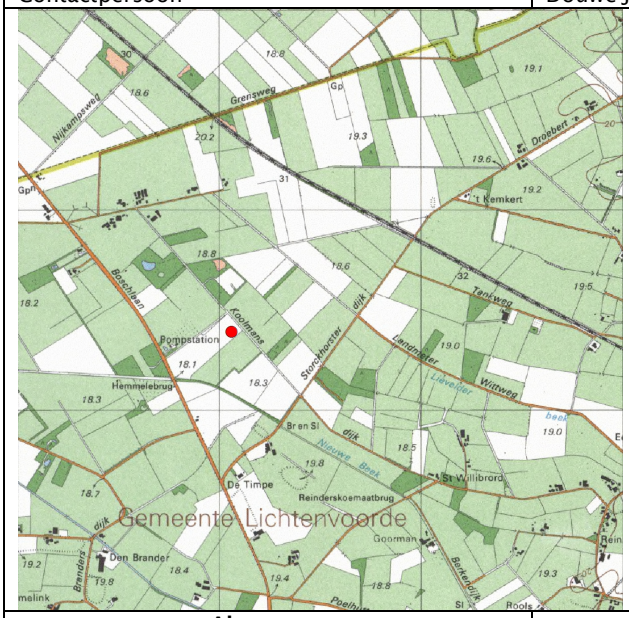
OVL13 Ameland Noordkeeg		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Friesland)	
Contactpersoon	Evert-Jan Lammerts, Marjan Veenendaal	

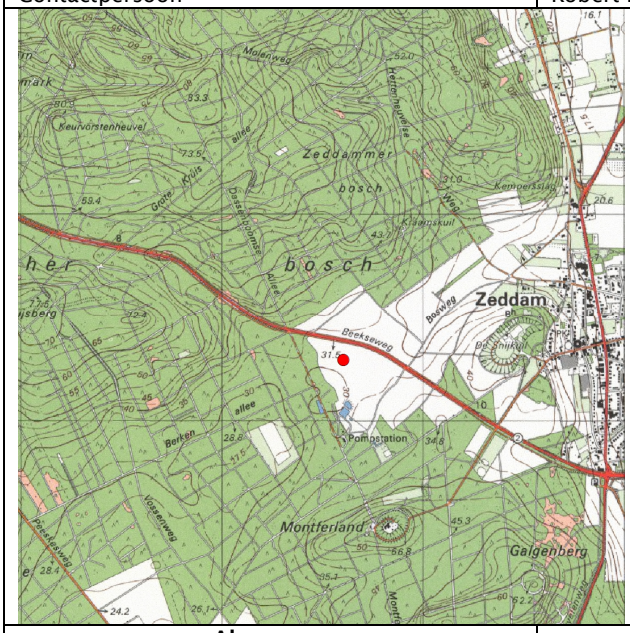


Algemeen:		
Coördinaten	X: 179111	Y: 607320
Grootte gebied	20-30 ha	
Gebruik voor inrichting	Landbouw	
Huidig doeltype	Heischraal grasland, vochtige duinheide	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Geplagd**	
Moment van uitvoeren	Na 2000, rond 2005	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Sloten verondiept, omgevormd in slenken	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en naweiden	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Koeien	
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		

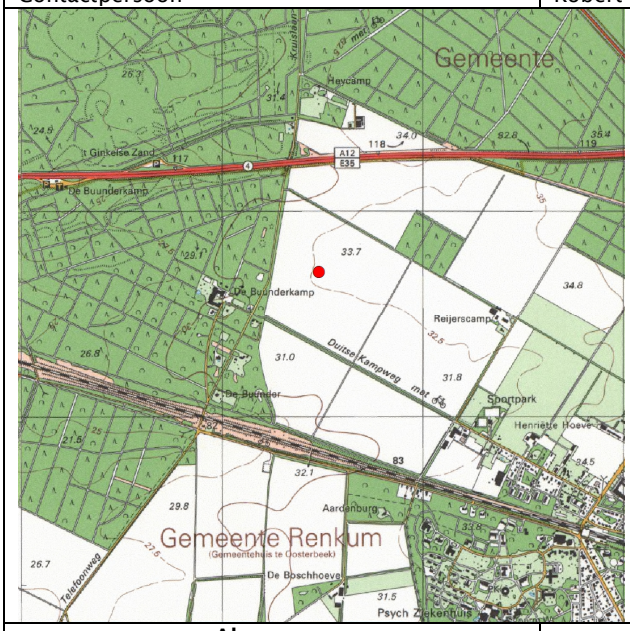
OVL14 Aaltense Goor		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Gelderland)	
Contactpersoon	Douwe Joustra	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 233719	Y: 441447
Grootte gebied	>1 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland	
Huidig doeltype	Vochtig schraalland	
Waterregime na inrichting	Grondwaterbeïnvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	2003	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		

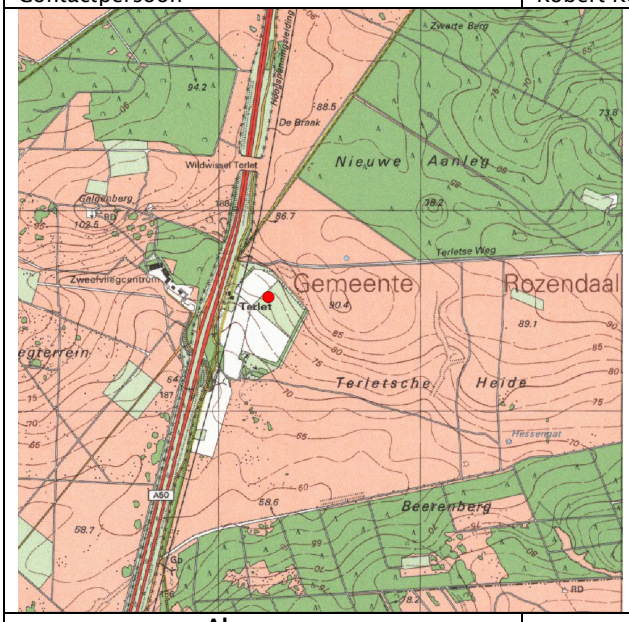
OVL15 Beekvliet		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Gelderland)	
Contactpersoon	Douwe Joustra	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 229547	Y: 459459
Grootte gebied	>1 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland	
Huidig doeltype	Natte heide, heischraal grasland	
Waterregime na inrichting	Grondwaterbeïnvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	1990-2014	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		

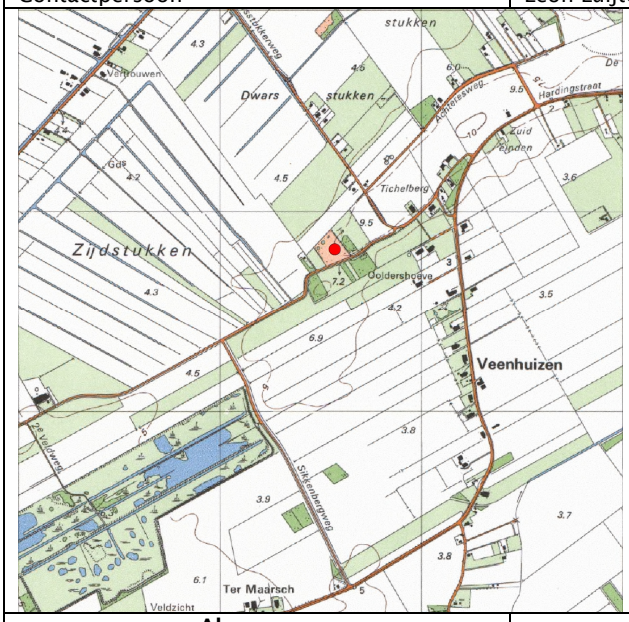
OVL16 Koolmansdijk		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Gelderland)	
Contactpersoon	Douwe Joustra	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 235061	Y: 448393
Grootte gebied	Ca 50 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland, akker	
Huidig doeltype	Blauwgrasland, Natte heide	
Waterregime na inrichting	Grondwaterbeïnvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2001-2003, 2011	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	2001-2003: gem. 30 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Reliëfvolgend	
Delen met grond opgehoogd?	Grond afgevoerd	
Ontwatering?	Diepe ontwateringsloten, grondwaterwinning op enkele 100en meters afstand	
Hoe veranderd?	Diepe sloten gedempt of verondiept	
Huidige ontwatering	Oppervlakkige afvoer van regenwater via greppels die aantakken op een gestuwde sloot. In 2000 werd het pompstation gesloten waardoor het grondwater met 10-50 cm is gestegen. Langs de randen zijn enkele diepe sloten blijven bestaan	
Bekalkt?	Nee, basenrijk kwelwater voldoende	
Geënt maaisel/plagsel?	Maaisel (2002 of 2003 check perceel)	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar	
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Both & Van Wirdum, 1981	
Bodemprofieldata aanwezig?	Both & Van Wirdum, 1981	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Both & Van Wirdum, 1981	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Verwijderen houtsingel en het plaggen van de vrijgekomen strook om de gebieden samen te voegen	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Giesen en Geurts	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?	Jansen et al. (Levende Natuur)	

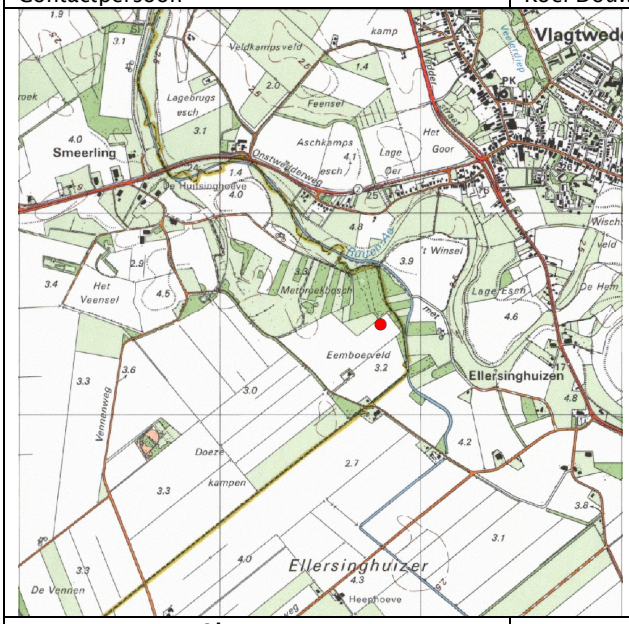
OVL17 Casus WOG-weide		
Beheerder	Natuurmonumenten (Gelderland)	
Contactpersoon	Robert Ketelaar	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 213603	Y: 435296
Grootte gebied	>1	
Gebruik voor inrichting	Akker	
Huidig doeltype	Kruidenrijk grasland met veel struweel	
Waterregime na inrichting	Droog	
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Begrazing**	
Moment van uitvoeren	Rond 1995	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	N.v.t.	
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten	Koeien	
Aantal beesten per hectare	Ca. 10 koeien in het gebied (moet iets opgevoerd worden)	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Wel rekening gehouden met nabije waterwinning (niet teveel koeien om zo weinig mogelijk mest op het perceel te krijgen)	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Nee	

OVL18 Onderlaatse Laak		
Beheerder	Natuurmonumenten (Gelderland)	
Contactpersoon	Robert Ketelaar	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 217660	Y: 460385
Grootte gebied	>1 ha	
Gebruik voor inrichting	Lager gelegen percelen grasland, hoger gelegen percelen ook als akker	
Huidig doeltype	Dotterbloemhooiland, kruidenrijk grasland, graanakker	
Waterregime na inrichting	Lage delen grondwaterbeinvloed met kwel, hoge delen zijn droog	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Laag wel, hoog niet	
Specificatie van maatregel:	**Begrazing**	
Moment van uitvoeren	2006/2007	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Ja, dat betreft de akkers	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Onderlaatse Laak is verondiept en deel verlegd, een aantal aantakkende sloten zijn gedempt	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?	Ja deels op de lage percelen	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Drukbegrazing en maaibeheer op hoge percelen. Beweiding op percelen tegen de weg aan.	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja is geleverd	
Bodemprofieldata aanwezig?	Ja in inrichtingsplan	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?	Ja, florakarteringen en PQ reeksen (recent)	

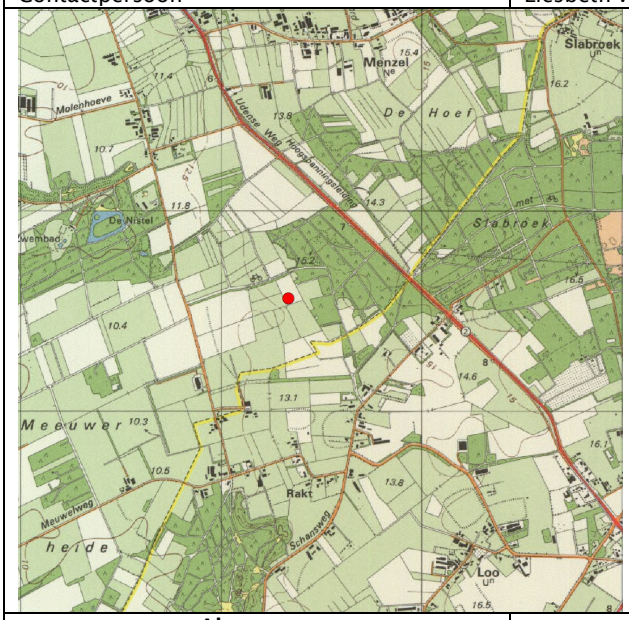
OVL19 Reijerskamp		
Beheerder	Natuurmonumenten (Gelderland)	
Contactpersoon	Robert Ketelaar	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 181484	Y: 447712
Grootte gebied	30-35 ha	
Gebruik voor inrichting	Akker	
Huidig doeltype	Droge heide	
Waterregime na inrichting	Droog	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2005-2007	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	30-50 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor (tot op C-horizont, moedermateriaal) (Van Noppen)	
Delen met grond opgehoogd?	Nee grond gebruikt voor viaduct	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?	Deel maaisel opgebracht, deel geënt met goed ontwikkelde heidebodem	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Runderen	
Aantal beesten per hectare	20	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Bodemchemie door DLG (Martijn Bezemer NIOO)	
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Experimentele opzet van afgraven en enten bodemmateriaal en opbrengen maaisel	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?	Langjarige pq reeks Lieuwe Haanstra, kolonisatie door loopkevers (Hans Turin). Er is een samenvattend artikel gemaakt/in voorbereiding over de ontwikkelingen op Reijerskamp. Het laatste concept is op te vragen bij Martijn Bezemer van NIOO.	

OVL20 Nationaal Park Veluwe Zoom		
Beheerder	Natuurmonumenten (Gelderland)	
Contactpersoon	Robert Ketelaar	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 193250	Y: 452573
Grootte gebied		
Gebruik voor inrichting	Akker	
Huidig doeltype	Nagenoeg natuurlijk landschap	
Waterregime na inrichting	Droog	
Indien grondwater, treed er kwel op?	-	
Specificatie van maatregel:	**Begrazing**	
Moment van uitvoeren	1987	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazen	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Natuurlijke begrazing	
Soorten beesten	Runderen edelherten en wilde zwijnen en recent damhert	
Aantal beesten per hectare	Onderdeel van integrale begrazing door Schotse Hooglanders NP Veluwezoom. De dieren zijn formeel in het wild levende dieren, aantallen worden niet gereguleerd	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	Veel historisch materiaal over de ontwikkelingen op deze percelen beschikbaar. 2 dissertaties en onderzoek door NIOO. Vraag Andre ten Hoedt	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?	Florakarteringen en een recente (2014) vegetatiekartering (Berglinde, 2014)	

OVL21 Tichelberg		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Groningen)	
Contactpersoon	Leon Luijten	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 263573	Y: 560813
Grootte gebied	3-4 ha	
Gebruik voor inrichting	Fase 1: akker, geen intensief gebruik, fase 2: akker en grasland	
Huidig doeltype	14.03 haagbeuk en essenbos	
Waterregime na inrichting	Gebied is een hoogte met keileemondergrond. Tijdens natte periode drassig, tijdens droge periode droogt de bodem oppervlakkig op	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1978, 1994-1995 Fase 1: 1980-1982, fase 2: 1992	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	30 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor	
Delen met grond opgehoogd?	Mogelijk, maar da alleen van zeer oude datum	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Niet veranderd	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee, zaadbank en herkomst soorten uitvoerig beschreven in rapport Klooker	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Begrazing met pony's	
Welk regulier beheer	Nu geen actief beheer, begrazing alleen in klein perceeltje grasland oostzijde gebied. Geplagde bodem geen beweiding meer.	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Onbekend	
Bodemprofieldata aanwezig?	Onbekend	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Klooker	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Klooker	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Bekker, 2008; Verhagen, 2001; Klooker et al., 1999	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?	Altenburg en Wymenga 1994; kartering t.b.v. rapportage Klooker en Buro Bakker, 2004.	

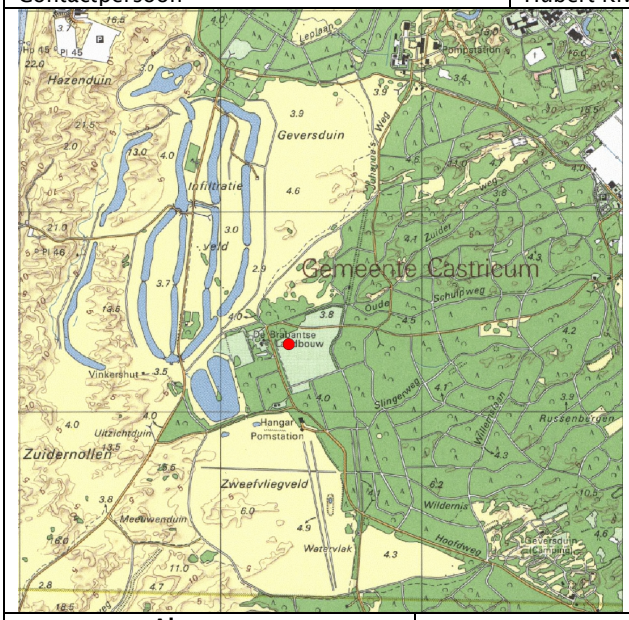
OVL22 Eemboerveld		
Beheerder	Natuurmonumenten (Groningen)	
Contactpersoon	Roel Douwes	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 269801	Y: 560447
Grootte gebied	10	
Gebruik voor inrichting	1932-1987: akker	
Huidig doeltype	Gevarieerd grasland (Klooker)	
Waterregime na inrichting	Lage delen grondwater boven het maaiveld grootste deel van het jaar. Hoge delen altijd droog (wij hebben laag deel bemonsterd)	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee, verhinderd door keileemlagen	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1991	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	Keileemlaag ligt gem. op 2m + NAP, toppen van de bulten op 4m + NAP.	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor (tot op keileem afgegraven)	
Delen met grond opgehoogd?	Grond gebruikt om reliëf aan te brengen	
Ontwatering?	Jaren 50 grote drainagesloten aangelegd, afwatering door Ruiten A: grondwater verlaagd	
Hoe veranderd?	Pioniersoorten langzaam verdwenen, toename struweel en bos	
Huidige ontwatering	Intern via maaiveld	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer	**Extensieve begrazing met runderen**	
Welk overgangsbeheer	-	
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Mei tot November	
Soorten beesten	Runderen	
Aantal beesten per hectare	Zeer extensief (Klooker)	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Vergroting van de abiotische variatie, verhoging van de waterstanden	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Omringende percelen zullen ook ingericht worden (Klooker) omdat deze als infiltratie gebied werken	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Verhagen, 2007; Klooker et al., 1999	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?	Verhagen, 2007	
Vegetatie gevolgd?	Klooker et al., 1999, Karteringen van plantensoorten (diverse jaren)	

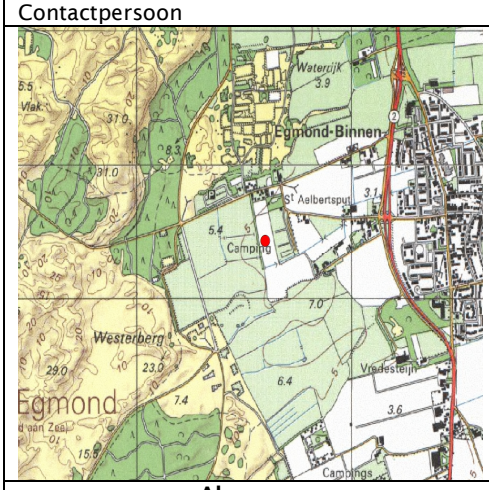
OVL23 Dommel (Geldrop Nuenen)		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Noord-Brabant)	
Contactpersoon	M. Nieuwelink, Jan Vogels	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 163349	Y: 388141
Grootte gebied	7,5 ha	
Gebruik voor inrichting	Vochtig schraal grasland	
Huidig doeltype	10.02 Vochtig hooiland	
Waterregime na inrichting	Gwt 2 volgens bodemkaart (er zijn recent 2013-2015 allerlei maatregelen uitgevoerd om de waterhuishouding te verbeteren, natte natuurparel)	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Alleen in sloten	
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	2008 – 2013 (tweede maaibeurt)	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	Er zijn diverse ontwateringsloten	
Hoe veranderd?	Recent: aanleg kade, verondiepen sloten, e.d. (zie bijlage)-> 2013-2015	
Huidige ontwatering	Resultaat dient te worden afgewacht (maatregelen zijn recent uitgevoerd)	
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	2 keer maaien in periode 2008 - 2013	
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?		

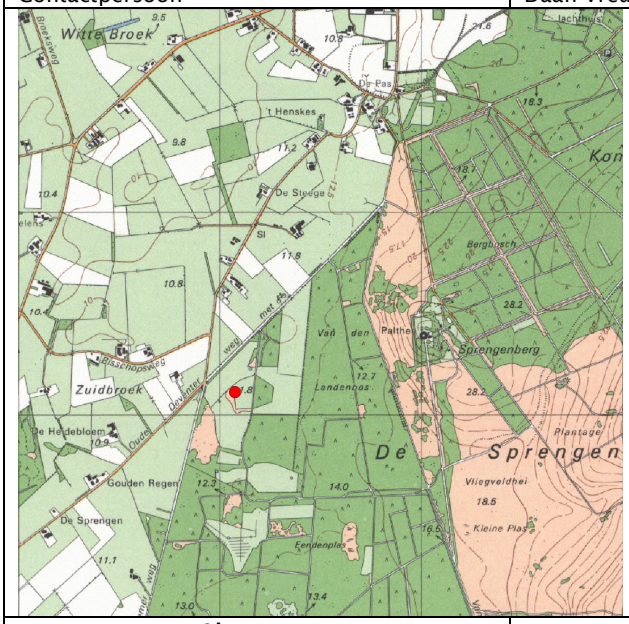
OVL24 Wijstgronden		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Noord-Brabant)	
Contactpersoon	Liesbeth van Oirschot-Beerens, Paul Schwaner, Michel Nieuwelink	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 168337	Y: 410570
Grootte gebied		
Gebruik voor inrichting	Akker (Mais)	
Huidig doeltype	Vochtig hooiland 118B 117C	
Waterregime na inrichting	Gradiënt in terrein, lage delen oost van de Peelrandbreuk: veel wijst (ijzerrijk); hogere delen droger	
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	2008	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?	In 2008 ingezaaid met gras	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Lage delen maaien met wetlandtrack, hoge delen maaien + nabeweiden	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?		

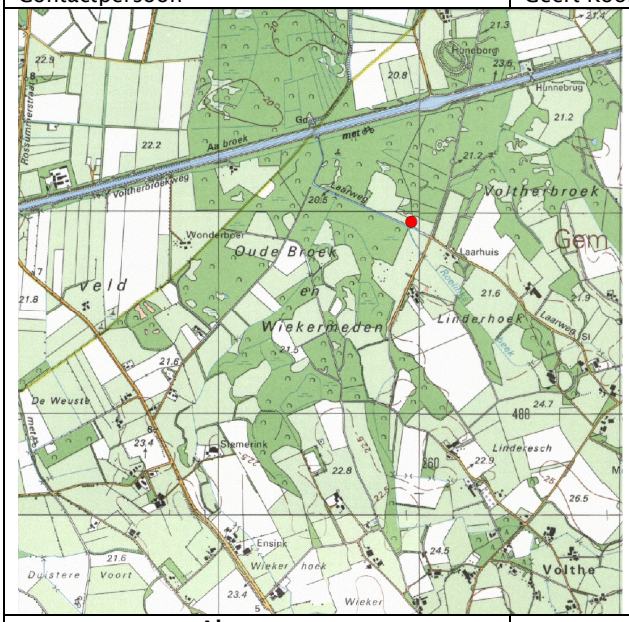
OVL25 Labbegat		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Noord-Brabant)	
Contactpersoon	Theo Bakker	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 129528	Y: 410910
Grootte gebied	2,4 ha (100 Klooker & Bekker (4 ha ontgrond))	
Gebruik voor inrichting	Grasland (voedselrijk) Sinds 1896 akker, voornamelijk maïs en weiland tot 1989 (Bekker) voornamelijk weidegebied, soms maïs (Klooker)	
Huidig doeltype	Nat schraalland	
Waterregime na inrichting	Regenwaterbeinvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Nee (Klooker) maar wel maatregelen voorzien om dat te stimuleren (Niet tot in de wortelzone Verhagen en Bekker)	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1997 (1995 Bekker, Klooker)	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	20 cm	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor	
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?	1905 kanaal gegraven om te draineren, greppels gegraven en in 1967 grondwaterpeil met 1 meter verlaagd t.b.v. landbouw	
Hoe veranderd?	Afgraven moest kwel tot in de wortelzone brengen, maar volgens Klooker en Verhagen is dit niet gelukt	
Huidige ontwatering	Kanaal en greppels	
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar (Klooker)	
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	Klooker, Bekker, Verhagen.	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?	Klooker, Bekker, Verhagen.	
Vegetatie gevolgd?		

OVL26 Zanderij		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Noord-Holland)	
Contactpersoon	Hans Wondergem, Marina Fijten	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 100696	Y: 489465
Grootte gebied	10 ha	
Gebruik voor inrichting	Bloembollencultuur	
Huidig doeltype	Duinrel	
Waterregime na inrichting	Grondwaterbeinvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Hoge flux basenrijk grondwater	
Specificatie van maatregel:	**Maaibeheer**	
Moment van uitvoeren	1991	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	Sloot over lengte gebied	
Hoe veranderd?	Watergangen in 1998 omgezet in duinrellen	
Huidige ontwatering	Gereguleerd met stuwen, over lengte loopt een sloot. In winter waterstand rond maaiveld (klein deel inundeert), in zomer lager (dicht onder maaiveld).	
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	3x per jaar maaien	
Welk regulier beheer	Maaibeheer	
Bij maaien:		
Frequentie	2x per jaar	
Moment in het seizoen	2e snede najaar	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	Sýkora (opvragen)	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Nee	
Vegetatie gevolgd?	Ja, heb ik van 2009	

OVL27 De Landbouw Grote wei		
Beheerder	PWN (Noord-Holland)	
Contactpersoon	Hubert Kivit	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 103341	Y: 506343
Grootte gebied	5,1 ha (3,7 ha)	
Gebruik voor inrichting	Cultuurgrond (roggeakker) extensief landbouw verleden	
Huidig doeltype	Open duin	
Waterregime na inrichting	Droog, vochtig en periodiek inunderend?	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Kwel treed op in oostzijde	
Specificatie van maatregel:	**Maaien en afvoeren (niets doen?)**	
Moment van uitvoeren	1995	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	Maximaal 1,5 onder maaiveld	
Waarop diepte gebaseerd?	Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand	
Delen met grond opgehoogd?	Ja kunstduin is aangelegd met vrijgekomen grond	
Ontwatering?	Nee, was niet aanwezig	
Hoe veranderd?	n.v.t.	
Huidige ontwatering	n.v.t.	
Bekalkt?	Indirect door opbrengen van kalkrijk zand op ontkalkte bodem	
Geënt maaisel/plagsel?	Indirect na instellen maaibeheer van de valleien en de droge graslanden via transport met maaimachines.	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Integraal incidenteel beweiding met schapen. Droge graslanden, gefaseerd maaien incl. afvoeren (1x per 3jaar) struweel verwijderen. Valleien, boomvormers verwijderen, niets doen tot er enige vegetatieontwikkeling heeft plaats gevonden daarna jaarlijks maaien en afvoeren. Opgeworpen duin geen beheer naast de incidentele nabeweiding	
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren (langdurig niet gemaaid van voor 2006)	
Bij maaien:		
Frequentie	Jaarlijks	
Moment in het seizoen	September oktober afhankelijk van groeiseizoen en ontwikkeling gentianen	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Periode van enkele weken in november tot maart (beschikbaarheidsafhankelijk)	
Soorten beesten	Schaap Scottisch blackface	
Aantal beesten per hectare	250 dieren op de 5 hectare	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	N.B., voor inrichtingsfase 2 is thans archeologisch vooronderzoek uitgevoerd	
Bodemprofieldata aanwezig?	Recent onderzoek van 2015	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Openheid bewaren (voorm. akkergebied), uitbreiden opp. vochtig duinmilieu	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Ruimte gelaten voor de ontwikkeling van een meer geleidelijke bosrand	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Onbekend	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Onbekend	
Evaluatie beschikbaar?	Onbekend	
Vegetatie gevolgd?	Ja 2013 beschikbaar	

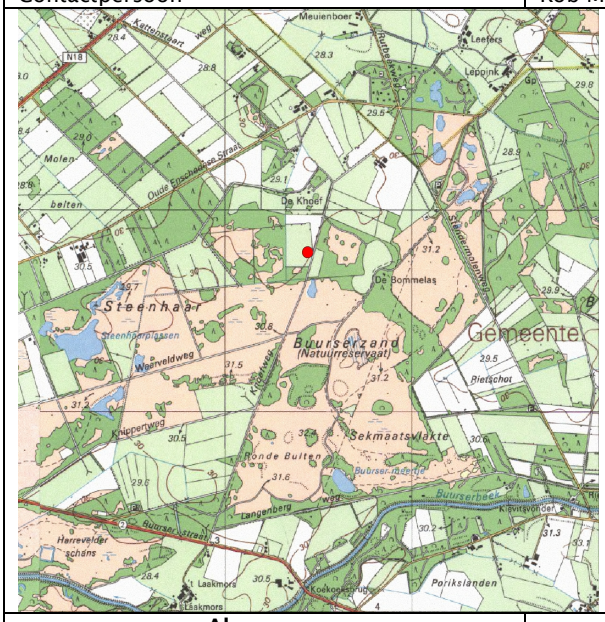
OVL28 Vennewater Land van Levering		
Beheerder	PWN (Noord-Holland)	
Contactpersoon	Hubert Kivit, Leon Terlouw	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 104600	Y: 512222
Grootte gebied	1,4 ha	
Gebruik voor inrichting	Bollenteelt, daarvoor weiland	
Huidig doeltype	Overgang tussen vochtige duinvallei en open duin	
Waterregime na inrichting	Droog+grondwaterbeinvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1998	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	Tussen 0 en 1,5 meter	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor verwijderen en permanent natte plekken en vochtige schrale delen te creëren.	
Delen met grond opgehoogd?	Ja grond werd gebruikt voor ophoging van het perceel, geen grond afgevoerd	
Ontwatering?	Duinrel aan de oostzijde	
Hoe veranderd?	Duinrel van drempels voorzien ter voorkoming, drainages zijn verwijderd	
Huidige ontwatering	Duinrellen	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Eerste jaren 2x per jaar maaien en afvoeren voor verschralen	
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar	
Moment in het seizoen	Najaar	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Aanvankelijk was de bedoeling de duinrellen van een flauwe oever te voorzien en het waterpeil te stuwen met ca 40 cm. Vanwege bezwaren van de naastliggende vakantiehuisjes kregen we hiervoor geen vergunning van het Waterschap en werd besloten het terrein zodanig in te richten dat er toch natte natuur zou komen zonder eventuele overlast voor de omgeving. Dat is gelukt, er is geen overlast en de bewoners zijn overwegend positief.	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Duinrel aanwezig, deze is minder afvoerend gemaakt. Overige drainage ook verwijderd, wat gunstig is voor aangrenzend natuurgebied	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Onbekend	
Evaluatie beschikbaar?	Geleverd	
Vegetatie gevolgd?	Geleverd	

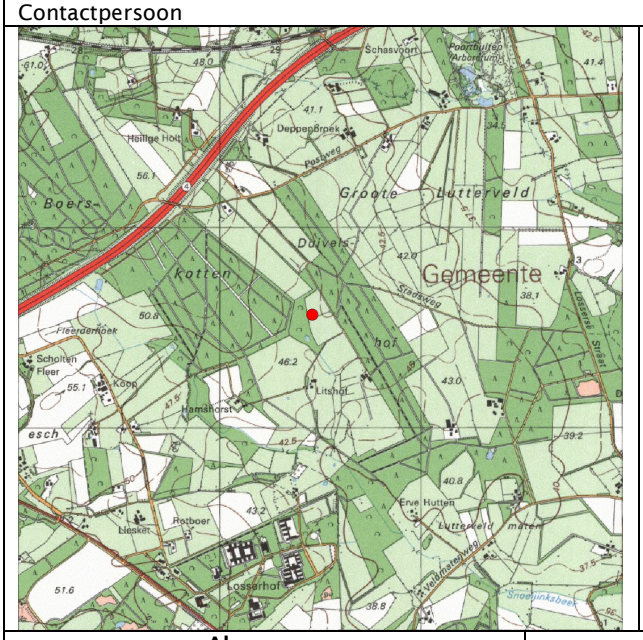
OVL29 Sallandse Heuvelrug		
Beheerder	Natuurmonumenten (Overijssel)	
Contactpersoon	Daan Vreugdenhil	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 222076	Y: 484113
Grootte gebied	30 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland en maïsakker	
Huidig doeltype	Kruiden en faunarijk grasland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Graasbeheer**	
Moment van uitvoeren	1989	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?	Sloten	
Hoe veranderd?	Sloten verwijderd	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Geen	
Welk regulier beheer	Graasbeheer	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Schotse Hooglanders	
Aantal beesten per hectare	13 dieren op 200 ha	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Nee	
Bodemprofieldata aanwezig?	Nee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Niet meer na te gaan	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Ja een overgang van heide naar schrale graslanden	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee wel data uit 2014	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Ggor document en ecologisch onderzoek	
Vegetatie gevolgd?	Ja plots van 10x10m om de 10 jaar opgevolgd.	

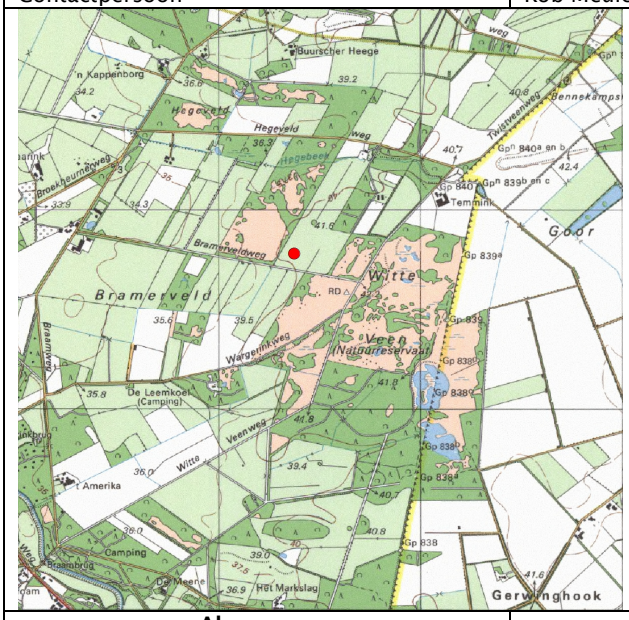
OVL30 Voltherbroek		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Overijssel)	
Contactpersoon	Geert Kooijman	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 259961	Y: 488953
Grootte gebied		
Gebruik voor inrichting		
Huidig doeltype		
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1986	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?	Oorspronkelijke maaiveldhoogte	
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer		
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?		

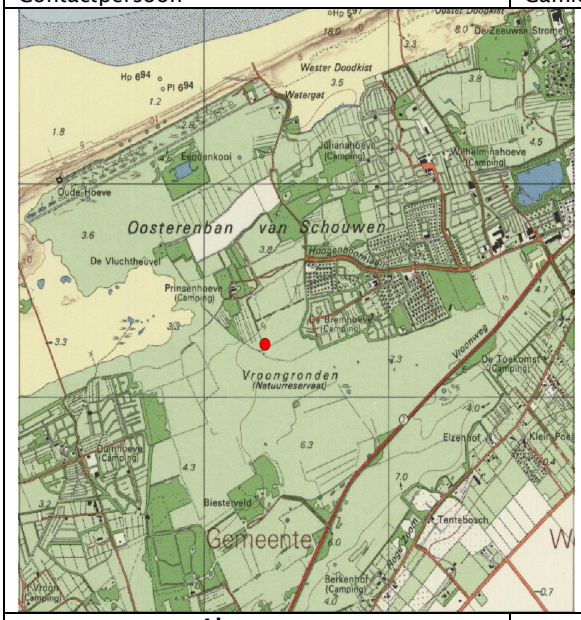
OVL31 Mosbeek Dal van de Reuterij		
Beheerder	Landschap Overijssel	
Contactpersoon	Loekie van Tweel-Groot	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 254543	Y: 496491
Grootte gebied	2 ha	
Gebruik voor inrichting	Tot 1915 grasland en akkertje na 1915 grasland	
Huidig doeltype	Blauwgrasland/ heischraal grasland	
Waterregime na inrichting	Droog+grondwaterbeïnvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja, langs beekloop	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1996 (1998 volgens Bekker)	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	25-30 cm in hoge delen en tot 2,5 meter in opgehoogde delen	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor	
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?	Ja is steil terrein	
Hoe veranderd?	Greppels deels verondiept (2014)	
Huidige ontwatering	Ligt nog diepe greppel met de buren, er is een geul/beek aanwezig naar de mosbeek	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Eerste jaren niets doen, daarna maaien in najaar + afvoer en nog een keer herinrichting	
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar	
Moment in het seizoen	Najaar (september meestal)	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Weet ze niet	
Bodemprofieldata aanwezig?	Geen idee	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Cultuurhistorie, verschraling	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Eromheen was toen alleen maar agrarisch, nog steeds	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Bekker	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Nee, alleen als onderdeel van hele dal van de mosbeek	
Vegetatie gevolgd?	Ja, ze heeft nog veldkaartjes	

OVL32 Perceel Groener Stroothuizen		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Overijssel)	
Contactpersoon	Rick Ruis	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 267940	Y: 488149
Grootte gebied	5-10 ha	
Gebruik voor inrichting	Akker	
Huidig doeltype	Natte heide, droge heide, vochtig schraalland/Droog schraalland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven/Dempen diepe sloot**	
Moment van uitvoeren	1991 1996?	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	Wisselend/ vooraf exact geboord	
Waarop diepte gebaseerd?	Bouwvoor/Onderliggend bodemprofiel/Slenken opgezocht en uitgegraven	
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?	Nee/ Regenwater(lens) afvoer	
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering	Regenwater(lens) afvoer	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Uitmijnen met maïs/intensief ongewenste opslag verwijderd/ 2x pj maaien/afvoer	
Welk regulier beheer	Maaien/afvoeren . Bosopslag tegengaan	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar (sinds enkele jaren)	
Moment in het seizoen	Juli/augustus	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	-	
Soorten beesten	-	
Aantal beesten per hectare	-	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja, profiel + bodemonderzoek	
Bodemprofieldata aanwezig?	Ja?	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Inrichting hield sterk rekening met herstelmogelijkheden van oud reservaat Stroothuizen	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Ja, bestaand reservaat Stroothuizen	
Monitoring:		
Bodemchemie?	-	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	-	
Evaluatie beschikbaar?	-	
Vegetatie gevolgd?	Ja, door middel van vegetatiekarteringen. En opnames PQ's	

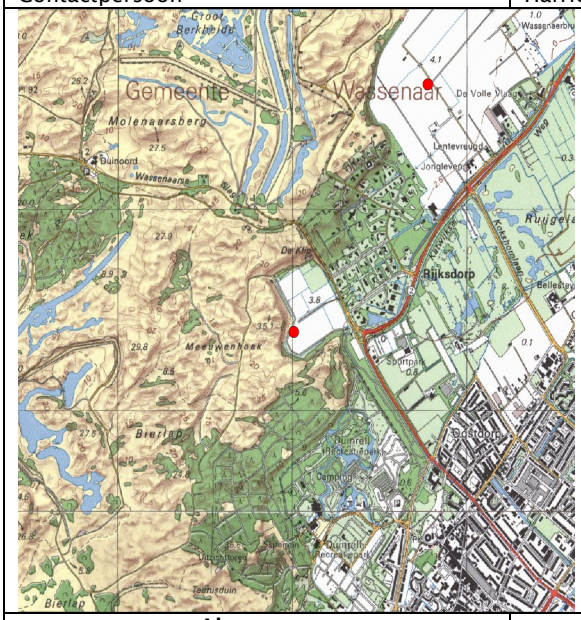
OVL33 Buurserzand		
Beheerder	Natuurmonumenten (Overijssel)	
Contactpersoon	Rob Meulenbroek	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 251431	Y: 464787
Grootte gebied	3 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland	
Huidig doeltype	Nat schraalland	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Graasbeheer/ Maaien en afvoeren**	
Moment van uitvoeren	1990	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	In verband met inrichting in een ander deel van het Buurserzand is aan de zuidkant een ontwateringsloot gedempt in 2000. In 2007 is het gebied rondom dit perceel ingericht waarbij ook de hydrologie is verbeterd. (zie rapport Ecologisch herstel Meujenboersven en omgeving, JW van t Hullenaar) Ook andere sloten aan west-, noord- en oostkant gedempt.	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Ja laatste 5 jaar wordt na maaien bekalkt	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Aanvankelijk is er enkel begraasd, daarna enkele jaren maaien en afvoeren met nabeweiden en sinds 1996 enkel maaien en afvoeren	
Welk regulier beheer	Maaien en afvoeren sinds 1996 en bekalken de afgelopen 5 jaar	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar	
Moment in het seizoen	Augustus	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Enkel maaien is gekozen wegens het voorkomen van gevlekte orchideeën in naastgelegen percelen	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	In 2013 door Bware	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?	Altenburg & Wymenga, 2012	

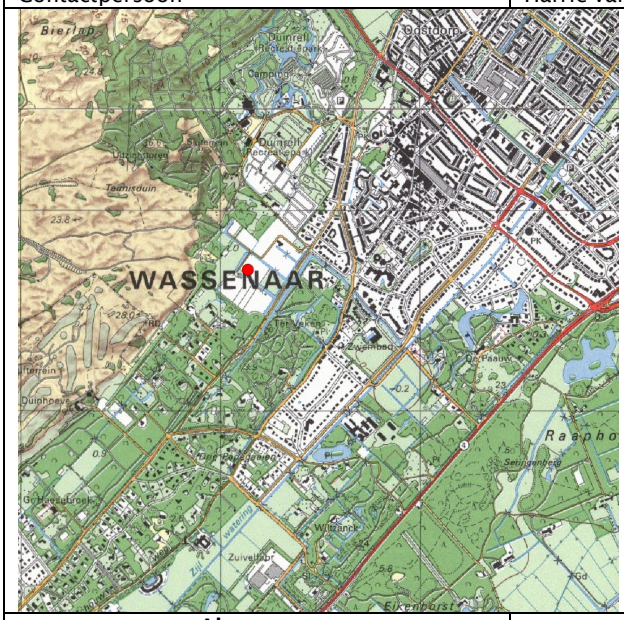
OVL34 Duivelshof		
Beheerder	Natuurmonumenten (Overijssel)	
Contactpersoon	Rob Meulenbroek	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 263465	Y: 479573
Grootte gebied	2,5 ha (2 ha Bekker)	
Gebruik voor inrichting	Grasland, maïsakker	
Huidig doeltype	Natte heide	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Bekker geen indicaties van kwel waargenomen	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1994/1995	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	25 cm (plaatselijk tot op keileem)	
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Nee	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Gedeeltelijk maaien van een strook gras rondom het perceel	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen		
Soorten beesten		
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja (1)	
Bodemprofieldata aanwezig?	Ja (1)	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?		
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?		

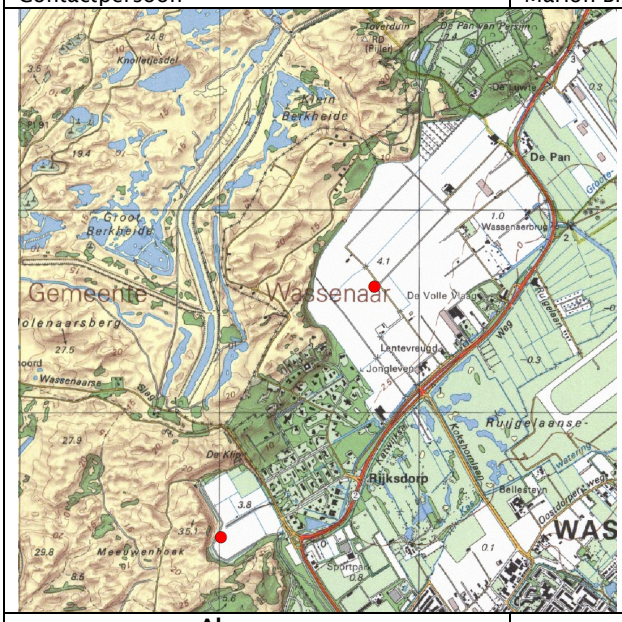
OVL35 Witteveen		
Beheerder	Natuurmonumenten (Overijssel)	
Contactpersoon	Rob Meulenbroek	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 256366	Y: 463771
Grootte gebied	32,5 ha	
Gebruik voor inrichting	Grasland (onderdeel van agrarisch bedrijf: gemaaid en beweid met melkvee)	
Huidig doeltype	N12.02	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?	Lokaal treed kwel op	
Specificatie van maatregel:	**Begrazing**	
Moment van uitvoeren	1990	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte		
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?		
Ontwatering?	Greppels	
Hoe veranderd?	Greppels noordoostkant in 1990 gedicht, overige greppels onbeheerd waardoor afwatering gestagneerd is.	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Begrazing	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Schotse Hooglanders	
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	2013 door Bware	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?		
Vegetatie gevolgd?		

OVL36 Vroongronden		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Zeeland)	
Contactpersoon	Camiel Beiersbergen, Sander Terlouw, Peter Maas	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 41330	Y: 416247
Grootte gebied		
Gebruik voor inrichting	Landbouw (Sival zegt grasland)	
Huidig doeltype	Zwarte zegge/ Zilverschoon-verbond	
Waterregime na inrichting	Schommelende grondwaterstanden (Sival) vochtgradiënt door helling	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja, zoetwaterbel zit kort onder het maaiveld, geplagde delen staan 's winters onder water. Bij opschonen poelen, welt het grondwater omhoog.	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2004/2005 (beheerd vanaf 1995 (Sival))	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	30 cm (Sival)	
Waarop diepte gebaseerd?	Afvoeren humeuze grond, grotendeels tot op minerale zand. Diepte ook gebaseerd op grondwater wortelzone.	
Delen met grond opgehoogd?	Neen.	
Ontwatering?	Integendeel: duinwater wordt vastgehouden d.m.v. stuwen om ontwatering via de polder te voorkomen.	
Hoe veranderd?	Vernatting van het landschap, beeld van droge duinen naar natte duinvalleien.	
Huidige ontwatering	Over de stuw bij ingestelde stand.	
Bekalkt?	Neen.	
Geënt maaisel/plagsel?	Neen.	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Graasbeheer	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond runderen, pony's in het groeiseizoen.	
Soorten beesten	Runderen, pony's	
Aantal beesten per hectare	0,5 GVE p/ha. runderen en 0,1 GVE p/ha. pony.	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?		
Monitoring:		
Bodemchemie?	Sival et al., 2009	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?	Sival et al., 2009	
Vegetatie gevolgd?	Sival et al., 2009	

OVL37 Oranjebosch		
Beheerder	Het Zeeuwsche Landschap	
Contactpersoon	Gerard Wösten, Z. Worms	
Algemeen:		
Coördinaten	X: 29625	Y: 401037
Grootte gebied	31 ha	
Gebruik voor inrichting	Landbouw (Bouwland Sival)	
Huidig doeltype	Zwarte Zegge/ Zilverschoon-verbond	
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2004	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	40 cm (Sival)	
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Ja, om reliëf aan te brengen	
Ontwatering?	Ondiepe sloten, duiker met stuw geplaatst	
Hoe veranderd?		
Huidige ontwatering		
Bekalkt?		
Geënt maaisel/plagsel?		
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer		
Welk regulier beheer	Graasbeheer (aanvullend maaien en afvoeren)	
Bij maaien:		
Frequentie	1x in de 5 jaar	
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Runderen: 1 mei tot 1 november, Pony's: 1 november tot 1 april, Damherten uit de duinen: jaarrond	
Soorten beesten	Runderen, Shetland Pony's, Damherten uit de duinen	
Aantal beesten per hectare	Runderen: 1,5 Gve/ha Pony's 21 in totaal	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?		
Bodemprofieldata aanwezig?		
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen		
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Aangrenzend Prunusbos geveld, afgevoerd, geplagd en toegevoegd aan gebied, om een open verbinding met het duingebied te creëren.	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Sival et al., 2009	
Waterstandmetingen (buiten DINO)		
Evaluatie beschikbaar?	Sival et al., 2009	
Vegetatie gevolgd?	Sival et al., 2009	

OVL38 De Klip		
Beheerder	Dunea (Zuid-Holland)	
Contactpersoon	Harrie van der Hagen	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 86011	Y: 463395
Grootte gebied	15 ha	
Gebruik voor inrichting	Bloembollencultuur	
Huidig doeltype	Noord-Hollands Nollenlandschap	
Waterregime na inrichting	Droog/ droog+grondwaterbeinvloed/ grondwaterbeinvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja, kwel vanaf de binnenduinrand en via de beken het gebied in	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	1995-1996	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	10-40 cm	
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Nieuw duinbeken gegraven, met dat zand de tussenliggende delen opgehoogd	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Waterstanden zijn niet veranderd	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Geen	
Welk regulier beheer	Begrazing en aanvullend maaien en afvoeren (na 2009 ook nabeweiding)	
Bij maaien:		
Frequentie	1 x per jaar vanaf 2002	
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Paarden	
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja nog niet digitaal aanwezig	
Bodemprofieldata aanwezig?	Ja nog niet digitaal aanwezig	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Herstel van duinbeken (kwel uit hoge binnenduinrand) naar een nollenlandschap.	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Kwel uit aangrenzend gebied maximaal benut	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Ja geleverd	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Ja geleverd	
Vegetatie gevolgd?	Ja geleverd	

OVL39 Hertenkamp		
Beheerder	Dunea (Zuid-Holland)	
Contactpersoon	Harrie van der Hagen	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 86140	Y: 461705
Grootte gebied	15 ha	
Gebruik voor inrichting	Bloembollencultuur	
Huidig doeltype	Noord-Hollands Nollenlandschap	
Waterregime na inrichting	Droog/ Droog+grondwaterbeinvloed/Grondwaterbeinvloed	
Indien grondwater, treed er kwel op?	Ja, kwel vanaf de binnenduinrand en duinbeken de gebieden in	
Specificatie van maatregel:	**Afgraven**	
Moment van uitvoeren	2001-2002	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	10-40 cm (tot 1 m)	
Waarop diepte gebaseerd?		
Delen met grond opgehoogd?	Duinbeken gegraven en met dit zand een strandwal hersteld	
Ontwatering?		
Hoe veranderd?	Niets veranderd	
Huidige ontwatering		
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Geen	
Welk regulier beheer	Begrazing en aanvullend maaien en afvoeren (na 2009 ook nabeweiding)	
Bij maaien:		
Frequentie		
Moment in het seizoen		
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Paarden	
Aantal beesten per hectare		
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja gestuurd	
Bodemprofieldata aanwezig?	Ja gestuurd	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Herstel van duinbeken (kwel uit hoge binnenduinrand) naar een nollenlandschap met herstel van een strandwalrug	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Kwel uit aangrenzend gebied maximaal benut	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Ja gestuurd	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Ja gestuurd	
Vegetatie gevolgd?	Ja gestuurd	

OVL40 Lentevreugd		
Beheerder	Staatsbosbeheer (Zuid-Holland)	
Contactpersoon	Marion Bilius, Mark Kras	
		
Algemeen:		
Coördinaten	X: 86780	Y: 464629
Grootte gebied	95 ha	
Gebruik voor inrichting	Bloembollencultuur	
Huidig doeltype		
Waterregime na inrichting		
Indien grondwater, treed er kwel op?		
Specificatie van maatregel:	**Afgegraven**	
Moment van uitvoeren	2003, 2006	
Bij plaggen en afgraven		
Diepte	50 cm tot meer dan een meter	
Waarop diepte gebaseerd?	Op de diepte van de geroerde bodem	
Delen met grond opgehoogd?	Ja dat zijn nu de droge duinen. Geen grond afgevoerd, maar intern geschoven met grond	
Ontwatering?	Ja afvoer over verschillende stuwen	
Hoe veranderd?	Oppervlaktewater wordt opgestuwd, grondwater wordt beter vastgehouden	
Huidige ontwatering	Afvoer over stuw vanuit gegraven duinrellen	
Bekalkt?	Nee	
Geënt maaisel/plagsel?	Nee	
Specificatie beheer		
Welk overgangsbeheer	Tamelijk intensieve begrazing met aanvullend maaibeheer	
Welk regulier beheer	Extensieve begrazing en indien nodig aanvullend maaibeheer van valleien	
Bij maaien:		
Frequentie	1x per jaar	
Moment in het seizoen	Augustus - oktober	
Bij beweiding:		
Moment van inscharing in het seizoen	Jaarrond	
Soorten beesten	Schotse hooglandrunderen en Koniks (paarden)	
Aantal beesten per hectare	Ca 45 Schotse hooglandrunderen en 15 Koniks op 100 ha	
Vooronderzoek:		
Uitgevoerd?	Ja geleverd	
Bodemprofieldata aanwezig?	Bodem was geëgaliseerd en geroerd tot ca 50 cm diepte	
Overwegingen bij keuze inrichting/ maatregelen	Geen bodemchemie getest omdat grond toch in gebied verwerkt zou worden wegens financiële redenen	
Rekening gehouden met aangrenzend natuurgebied?	Er zit een randsloot tussen het gebied en aangrenzende terreinen	
Monitoring:		
Bodemchemie?	Nee	
Waterstandmetingen (buiten DINO)	Nee	
Evaluatie beschikbaar?	Nee	
Vegetatie gevolgd?	Diverse, geleverd	

Aggenbach, C.J.S., M. Berg, J. Frouz, T. Hiemstra, L. Norda, J. Roymans, R. van Diggelen (2017). Evaluatie strategieën omgang met overmatige voedingsstoffen. OBN2017/214-NZ, Vereniging van Bos- en Natuureigenaren. Driebergen.

Bijlage 5: Aangetroffen soorten in de onderzochte projectgebieden

Vegetatieopnamen

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL 01	OVL 02	OVL 03	OVL 04	OVL 05	OVL 06	OVL 07	OVL 08	OVL 09	OVL 10
Achillea millefolium	1646	Nee	TNB	15			3		8				
Agrostis capillaris	1590	Ja	TNB	15	1	8	40	40	15	15	15		8
Agrostis stolonifera	1655	Nee	TNB					3					3
Aira praecox	1108	Ja	TNB							3			
Anthoxanthum odoratum	1552	Nee	TNB	8			15	15			15		
Betula pendula	1488	Nee	TNB							15			
Betula pubescens	1376	Nee	TNB		3	1				3		3	3
Calamagrostis epigejos	1416	Nee	TNB		1	9				1			3
Calluna vulgaris	907	Ja	TNB		3	3				3		8	8
Carex arenaria	989	Ja	TNB									1	
Carex nigra	1228	Ja	TNB		1	3							
Carex oederi	892	Ja	TNB		3							8	1
Carex ovalis	1158	Nee	TNB					1		3			
Carex panicea	832	Ja	TNB		3			1					3
Carex pilulifera	854	Ja	TNB							3			
Cerastium fontanum	1659	Nee	TNB	3			3	3	3		3		
Cirsium arvense	1665	Nee	TNB				3				1		
Cirsium palustre	1350	Ja	TNB					3			3		
Conyza canadensis	1624	Nee	TNB							1			
Crataegus monogyna	1603	Nee	TNB						3				
Cynosurus cristatus	1120	Ja	G					3					
Deschampsia flexuosa	887	Nee	TNB		3	8							
Drosera intermedia	519	Ja	TNB		1							1	
Dryopteris carthusiana	1334	Nee	TNB		1								
Dryopteris dilatata	1387	Nee	TNB										1
Empetrum nigrum	221	Ja	TNB			40							3
Epilobium montanum	1158	Nee	TNB				1						
Epilobium obscurum	508	Nee	K					3					
Erica tetralix	771	Ja	TNB		8	1						15	8
Eriophorum angustifolium	691	Ja	TNB		3								
Euphrasia stricta	549	Ja	G					1		1			
Festuca filiformis	1237	Ja	TNB			8				8			
Festuca rubra	1662	Nee	TNB	8					15	15		3	3
Filago minima	613	Ja	TNB							1			
Galium palustre	1460	Nee	TNB								3		
Galium saxatile	706	Ja	TNB	3		3							
Gentiana pneumonanthe	356	Ja	G										1
Hieracium aurantiacum	1254	Nee	TNB				1						
Hieracium laevigatum	959	Ja	TNB									1	
Hieracium pilosella	1201	Ja	TNB	3		1			8				
Holcus lanatus	1652	Nee	TNB	8	1		8	8	8	3	15		
Holcus mollis	1326	Nee	TNB								1		
Hypericum perforatum	1471	Nee	TNB						3	1			
Hypericum tetrapterum	1167	Nee	TNB					1					
Hypochaeris radicata	1592	Ja	TNB	3	1	1	3	3	8	3	1		1
Juncus acutiflorus	1025	Ja	TNB					1					3
Juncus conglomeratus	1324	Ja	TNB			3			1				
Juncus effusus	1580	Nee	TNB	3	3	3	1	8	3		8		3
Juncus squarrosus	668	Ja	TNB	1	8	3						3	8
Juncus tenuis	1178	Nee	TNB							1			
Leontodon autumnalis	1633	Nee	TNB				3		8				
Leontodon saxatilis	1350	Ja	TNB							8			
Linaria vulgaris	1526	Nee	TNB				1						
Lotus corniculatus	1487	Ja	TNB					3		8			
Lotus pedunculatus	1452	Nee	TNB				3	8					3
Luzula campestris	1413	Ja	TNB	8						8			
Lycopodiella inundata	511	Nee	TNB		3							1	
Lysimachia vulgaris	1366	Nee	TNB										3
Lythrum salicaria	1489	Nee	TNB					1					
Molinia caerulea	959	Nee	TNB		1	3						3	15
Nardus stricta	569	Ja	G			3							

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL01	OVL02	OVL03	OVL04	OVL05	OVL06	OVL07	OVL08	OVL09	OVL10
Ornithopus perpusillus	939	Ja	TNB							3			
Osmunda regalis	785	Ja	TNB										1
Oxycoccus palustris	167	Ja	TNB										1
Persicaria hydropiper	1401	Nee	TNB					1			3		
Persicaria maculosa	1619	Nee	TNB				1	1			1		
Phalaris arundinacea	1581	Nee	TNB					1					
Phragmites australis	1640	Nee	TNB		3								
Picea sitchensis	260	Nee	?		3								
Pinus sylvestris	1005	Nee	TNB		3	1						3	1
Plantago lanceolata	1655	Nee	TNB				3	3	8		3		1
Polygala serpyllifolia	146	Ja	K	1									
Potentilla erecta	978	Ja	TNB	1	3	3						1	3
Potentilla species		Nee				1							
Prunella vulgaris	1578	Nee	TNB				1	3	8	3			
Quercus robur	1556	Nee	TNB				1		1				1
Ranunculus acris	1628	Nee	TNB				3	8	8				
Ranunculus flammula	1201	Ja	TNB					1					
Ranunculus repens	1649	Nee	TNB	8			3	8	8		15		
Rhynchospora fusca	330	Ja	TNB										3
Rubus fruticosus ag.	1613	Nee	TNB						3	1			
Rumex acetosa	1623	Nee	TNB	8			3	3	3		8		
Rumex acetosella	1519	Nee	TNB			8			3	3			3
Rumex crispus	1644	Nee	TNB					1			3		
Rumex obtusifolius	1640	Nee	TNB				3				3		
Salix aurita	1262	Nee	TNB		3	1	1			1		1	3
Salix repens	1099	Ja	TNB		3								3
Senecio jacobaea	1573	Ja	TNB				3		1	1			
Solanum nigrum s. nigrum	1620	Nee	TNB	1									
Sorbus aucuparia	1556	Nee	TNB		1							1	
Stellaria graminea	1243	Nee	TNB						1		1		
Taraxacum species		Nee					8	3			3		
Trichophorum cespitosum	304	Nee	K										1
Trifolium dubium	1632	Nee	TNB				3						
Trifolium pratense	1640	Nee	TNB				8	8	8				
Trifolium repens	1660	Nee	TNB	3			3	9	8	8	8		
Urtica dioica	1659	Nee	TNB								3		
Veronica chamaedrys	1382	Nee	TNB	3									
Veronica officinalis	859	Ja	TNB						3	3			
Vicia hirsuta	1403	Nee	TNB				3						
Vicia sativa s. nigra	1525	Nee	TNB				1						
Vicia species		Nee					1						

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL 11	OVL 12	OVL 13	OVL 14	OVL 15	OVL 16	OVL 17	OVL 18	OVL 19	OVL20
Achillea millefolium	1646	Nee	TNB							15	3	15	3
Agrostis canina	1037	Ja	TNB		3		15	15					
Agrostis capillaris	1590	Ja	TNB	15			15	60	30	30	15	15	30
Agrostis stolonifera	1655	Nee	TNB	3		8	15						
Alnus glutinosa	1573	Nee	TNB				1		8				
Amelanchier lamarckii	1254	Nee	TNB				1						
Angelica sylvestris	1464	Nee	TNB	3									
Anthoxanthum odoratum	1552	Nee	TNB					15					
Arrhenatherum elatius	1612	Nee	TNB							8			
Artemisia vulgaris	1612	Nee	TNB									3	
Aster lanceolatus	243	Nee	?									3	
Betula pendula	1488	Nee	TNB					3	15		3	3	
Betula pubescens	1376	Nee	TNB	3				3					
Calamagrostis epigejos	1416	Nee	TNB							30			
Calluna vulgaris	907	Ja	TNB	3				1	8			8	
Cardamine pratensis	1587	Nee	TNB					1					
Carex distans	270	Nee	TNB		8								
Carex disticha	1228	Nee	TNB				3						
Carex nigra	1228	Ja	TNB			3	8						
Carex oederi s. oedocarpa	713	Ja	TNB		1	3							
Carex panicea	832	Ja	TNB	3		3							
Carex pilulifera	854	Ja	TNB	3					8			3	
Centaurium pulchellum	513	Nee	TNB						3				
Cerastium fontanum	1659	Nee	TNB				1	3		3	3		
Chamerion angustifolium	1562	Nee	TNB							1			
Cirsium arvense	1665	Nee	TNB							3			
Cirsium palustre	1350	Ja	TNB			3	3						
Cirsium vulgare	1660	Nee	TNB			3	1			15			
Conyza canadensis	1624	Nee	TNB									15	8
Crataegus monogyna	1603	Nee	TNB										3
Cynosurus cristatus	1120	Ja	G			3							
Cytisus scoparius	1084	Nee	TNB							3			
Dactylis glomerata	1649	Nee	TNB				15			15			15
Dactylorhiza species		Nee							1				
Deschampsia flexuosa	887	Nee	TNB									3	
Empetrum nigrum	221	Ja	TNB	1									
Epilobium montanum	1158	Nee	TNB										3
Epilobium palustre	598	Ja	TNB			1							
Erica tetralix	771	Ja	TNB	3					3				
Euphrasia stricta	549	Ja	G	3			3	3	15				
Festuca ovina	67	Nee	TNB					3	15			3	
Festuca pratensis	1385	Nee	TNB				1	1					3
Festuca rubra	1662	Nee	TNB	8		3	3			8			8
Galium palustre	1460	Nee	TNB		1	8	8						
Galium saxatile	706	Ja	TNB	3				3					
Genista anglica	521	Ja	G									1	
Gentiana pneumonanthe	356	Ja	G						1				
Geranium molle	1632	Nee	TNB							8			
Helictotrichon pubescens	225	Nee	TNB							1			
Hieracium pilosella	1201	Ja	TNB									15	
Holcus lanatus	1652	Nee	TNB	8		3	15	15	30	15	15	8	30
Hydrocotyle vulgaris	1136	Ja	TNB	1	15	15							
Hypericum perforatum	1471	Nee	TNB					1		3	3	3	3
Hypericum tetrapterum	1167	Nee	TNB			3							
Hypochaeris radicata	1592	Ja	TNB	8					8		15	15	3
Isolepis setacea	787	Nee	TNB			1							
Jasione montana	848	Ja	TNB									1	
Juncus acutiflorus	1025	Ja	TNB					1					
Juncus conglomeratus	1324	Ja	TNB								1		
Juncus effusus	1580	Nee	TNB	3	1	8	30	3	8		15		
Juncus gerardi	496	Nee	TNB		3	3							
Juncus squarrosus	668	Ja	TNB	3					15			1	
Juncus tenuis	1178	Nee	TNB						8		15		

Leontodon autumnalis	1633	Nee	TNB			3	8		8		15	15	
Littorella uniflora	147	Ja	K		15								
Lolium perenne	1653	Nee	TNB				3						
Lotus corniculatus	1487	Ja	TNB	3				15			15		1
Lotus pedunculatus	1452	Nee	TNB			3	15		8				
Lychnis flos-cuculi	1354	Ja	TNB				3		1				
Lycopus europaeus	1563	Nee	TNB	3		1							
Lysimachia nummularia	1422	Nee	TNB				3						
Lysimachia vulgaris	1366	Nee	TNB		1								
Mentha aquatica	1549	Nee	TNB			15							
Molinia caerulea	959	Nee	TNB					1	3				
Myosotis laxa s. cespitosa	1351	Nee	TNB			1							
Myosotis ramosissima	810	Ja	TNB										3
Nardus stricta	569	Ja	G			1						3	
Persicaria maculosa	1619	Nee	TNB				1						
Phragmites australis	1640	Nee	TNB		3	8	1						
Picea abies	795	Nee	?									1	
Pinus sylvestris	1005	Nee	TNB						1			3	
Plantago lanceolata	1655	Nee	TNB	1			30	1		8	8	3	
Plantago major	1654	Nee	TNB			3							
Poa trivialis	1639	Nee	TNB			3							
Polygonum aviculare	1650	Nee	TNB										3
Populus tremula	1332	Nee	TNB						3				
Populus x canadensis	1318	Nee	?								1		
Potentilla anserina	1630	Nee	TNB			15							
Potentilla erecta	978	Ja	TNB	8	3	8		3					
Prunella vulgaris	1578	Nee	TNB	3			3						
Prunus serotina	1307	Nee	?										1
Quercus robur	1556	Nee	TNB	1				1	8				
Radiola linoides	77	Ja	B		1								
Ranunculus acris	1628	Nee	TNB				15				1		
Ranunculus flammula	1201	Ja	TNB			3							
Ranunculus repens	1649	Nee	TNB				30	15	3	8	15		
Rhamnus frangula	1314	Nee	TNB					1					
Rubus fruticosus ag.	1613	Nee	TNB	1						8			3
Rumex acetosa	1623	Nee	TNB	1			15	30		8	8		3
Rumex acetosella	1519	Nee	TNB									15	
Rumex crispus	1644	Nee	TNB								1		
Rumex obtusifolius	1640	Nee	TNB					1		3	1		1
Sagina procumbens	1627	Nee	TNB		1	3							
Salix aurita	1262	Nee	TNB	3		1							
Salix cinerea	1601	Nee	TNB					3	8		1		
Salix repens	1099	Ja	TNB	3	3	8			1				
Salix viminalis	1349	Nee	TNB						3				
Samolus valerandi	494	Ja	TNB			3							
Schoenoplectus lacustris ag. (incl. S. tabernaemontani)	1274	Nee	TNB			3							
Senecio inaequidens	1274	Nee	?									8	8
Senecio jacobaea	1573	Ja	TNB							15		3	15
Senecio vulgaris	1655	Nee	TNB							8	1		15
Stellaria graminea	1243	Nee	TNB							1			
Succisa pratensis	622	Ja	G					1	3				
Taraxacum species		Nee								15	15		
Torilis japonica	805	Nee	TNB							8			
Trifolium arvense	1234	Ja	TNB									15	
Trifolium pratense	1640	Nee	TNB				15		8	8	15		
Trifolium repens	1660	Nee	TNB			3	15		8	8	8	3	
Typha angustifolia	1346	Nee	TNB		3								
Ulmus laevis	112	Nee	TNB							1			
Urtica dioica	1659	Nee	TNB							3			3
Veronica scutellata	605	Ja	TNB			1							
Veronica serpyllifolia	1466	Nee	TNB										3
Vicia cracca	1600	Nee	TNB							3			

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL21	OVL22	OVL23	OVL24	OVL25	OVL26	OVL27	OVL28	OVL29	OVL30
Agrostis canina	1037	Ja	TNB		3			30					9
Agrostis capillaris	1590	Ja	TNB		15		15				1	60	
Agrostis stolonifera	1655	Nee	TNB								8		8
Ajuga reptans	998	Nee	TNB										1
Alchemilla glabra	121	Nee	B					1					
Alnus glutinosa	1573	Nee	TNB		3			3			1		
Angelica sylvestris	1464	Nee	TNB			3			1				
Anthoxanthum odoratum	1552	Nee	TNB		8				1				
Betula pubescens	1376	Nee	TNB	8				1					
Calamagrostis epigejos	1416	Nee	TNB							60			
Calammophila (x-)	86	Nee	?							3			
Calluna vulgaris	907	Ja	TNB	15	1								
Calystegia sepium	1632	Nee	TNB								3		
Cardamine pratensis	1587	Nee	TNB								1		8
Carex acutiformis	1099	Nee	TNB						3				
Carex arenaria	989	Ja	TNB							3			
Carex curta	728	Ja	TNB					1					
Carex disticha	1228	Nee	TNB			3			8				
Carex echinata	476	Ja	TNB					8					
Carex flacca	632	Ja	TNB						1				
Carex hirta	1554	Ja	TNB								3		
Carex nigra	1228	Ja	TNB		3								
Carex nigra x trinervis	42	Ja	?								15		
Carex oederi	892	Ja	TNB		3			15					
Carex panicea	832	Ja	TNB		3			8					1
Carex pilulifera	854	Ja	TNB	8									
Carex riparia	1270	Nee	TNB										1
Carex trinervis	83	Ja	TNB								3		
Carex vesicaria	608	Nee	TNB										3
Cerastium fontanum	1659	Nee	TNB		1								
Cirsium palustre	1350	Ja	TNB			3		3					
Cirsium vulgare	1660	Nee	TNB			3	1						
Crepis capillaris	1584	Nee	TNB				1						
Crepis paludosa	88	Nee	TNB			1							
Cynosurus cristatus	1120	Ja	G								1		
Dactylis glomerata	1649	Nee	TNB			3	3					1	
Dactylorhiza majalis s. praetermissa	1005	Ja	TNB						1		1		
Deschampsia flexuosa	887	Nee	TNB	8									
Drosera intermedia	519	Ja	TNB					15					
Eleocharis palustris	1513	Nee	TNB								9		
Eleocharis uniglumis	489	Nee	TNB										8
Epilobium montanum	1158	Nee	TNB			3							
Epipactis palustris	311	Ja	K						1				
Equisetum arvense	1621	Nee	TNB						3				
Equisetum fluviatile	1240	Nee	TNB								1		
Equisetum palustre	1381	Ja	TNB					1					3
Equisetum species		Nee				8							
Erica tetralix	771	Ja	TNB	3	1								
Erodium lebelii	121	Ja	B							1			
Eupatorium cannabinum	1540	Nee	TNB			3							
Euphrasia stricta	549	Ja	G					1	3			1	
Festuca filiformis	1237	Ja	TNB							3			
Festuca pratensis	1385	Nee	TNB			3	3						

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL21	OVL22	OVL23	OVL24	OVL25	OVL26	OVL27	OVL28	OVL29	OVL30
Festuca rubra	1662	Nee	TNB		8							8	
Filipendula ulmaria	1262	Nee	TNB						1				
Galium palustre	1460	Nee	TNB								8		3
Galium saxatile	706	Ja	TNB									8	
Galium verum	805	Ja	TNB							1			
Glyceria fluitans	1517	Nee	TNB										8
Heracleum sphondylium	1598	Nee	TNB				1						
Hieracium umbellatum	960	Ja	TNB							1			
Holcus lanatus	1652	Nee	TNB		3	30	30		8		3	8	15
Hydrocotyle vulgaris	1136	Ja	TNB					15					
Hypericum perforatum	1471	Nee	TNB					3		1			
Hypericum tetrapterum	1167	Nee	TNB						1				
Hypochaeris radicata	1592	Ja	TNB		3		3	8				15	
Iris pseudacorus	1566	Nee	TNB								1		
Juncus acutiflorus	1025	Ja	TNB					8					
Juncus articulatus	1577	Ja	TNB					3			8		15
Juncus compressus	785	Nee	TNB						3				
Juncus conglomeratus	1324	Ja	TNB	3							1		
Juncus effusus	1580	Nee	TNB	1	3	60	15	1	1		3	3	3
Juncus squarrosus	668	Ja	TNB	3									
Juncus subnodulosus	429	Ja	TNB						3		15		
Leontodon autumnalis	1633	Nee	TNB		3			1	3			8	3
Leontodon hispidus	250	Ja	K						1				
Linum catharticum	310	Ja	K						8				
Lolium perenne	1653	Nee	TNB				3						
Lotus pedunculatus	1452	Nee	TNB		3	3		1	3		3		8
Luzula campestris	1413	Ja	TNB	1									
Luzula multiflora	1067	Ja	TNB		3								
Lychnis flos-cuculi	1354	Ja	TNB			3							8
Lycopodiella inundata	511	Nee	TNB					30					
Lysimachia vulgaris	1366	Nee	TNB			3		3	1				
Lythrum salicaria	1489	Nee	TNB			3		15			1		
Mentha aquatica	1549	Nee	TNB			8					8		
Molinia caerulea	959	Nee	TNB	3				1					
Myosotis laxa s. cespitosa	1351	Nee	TNB								1		
Myosotis scorpioides	1371	Nee	TNB			3							
Oenothera erythrosepala	1209	Nee	TNB							1			
Osmunda regalis	785	Ja	TNB					3					
Parnassia palustris	204	Ja	K						9				
Pedicularis palustris	302	Ja	K			8		15					
Persicaria amphibia	1592	Nee	TNB								1		
Peucedanum palustre	946	Ja	TNB					3					
Phleum pratense	1601	Nee	TNB						1				
Phragmites australis	1640	Nee	TNB					15	8		8		
Plantago lanceolata	1655	Nee	TNB		3		3	1	8			3	3
Poa trivialis	1639	Nee	TNB			15							
Populus tremula	1332	Nee	TNB	1									
Potentilla anserina	1630	Nee	TNB						1		3		
Potentilla erecta	978	Ja	TNB	3				3					
Potentilla reptans	1368	Nee	TNB									1	
Prunella vulgaris	1578	Nee	TNB		3			3					
Quercus robur	1556	Nee	TNB	3							1		

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL21	OVL22	OVL23	OVL24	OVL25	OVL26	OVL27	OVL28	OVL29	OVL30
Ranunculus acris	1628	Nee	TNB		3				3		1		
Ranunculus flammula	1201	Ja	TNB		3	3							3
Ranunculus repens	1649	Nee	TNB			30	15	1	1		8	8	15
Rhinanthus angustifolius	1100	Ja	TNB						15		3		
Rubus species		Nee								1			
Rumex acetosa	1623	Nee	TNB		1		30					8	3
Rumex acetosella	1519	Nee	TNB									15	
Rumex conglomeratus	1410	Nee	TNB			1							
Rumex crispus	1644	Nee	TNB								3		
Rumex obtusifolius	1640	Nee	TNB				1					1	
Salix aurita	1262	Nee	TNB	3	3								
Salix cinerea	1601	Nee	TNB			1		3			1		
Salix repens	1099	Ja	TNB		3			1					
Senecio jacobaea	1573	Ja	TNB			3						3	
Senecio viscosus	1129	Nee	TNB							3			
Sorbus aucuparia	1556	Nee	TNB					1					
Stellaria graminea	1243	Nee	TNB									8	
Stellaria media	1657	Nee	TNB									3	
Stellaria palustris	761	Ja	TNB			3							
Succisa pratensis	622	Ja	G					1					
Symphytum officinale	1578	Nee	TNB						1				
Taraxacum species		Nee					3		1			3	3
Trifolium dubium	1632	Nee	TNB			3			3				
Trifolium pratense	1640	Nee	TNB		3		8		3		1		3
Trifolium repens	1660	Nee	TNB		3		8				3		8
Typha latifolia	1568	Nee	TNB								1		
Veronica officinalis	859	Ja	TNB									3	
Veronica scutellata	605	Ja	TNB										1
Vicia cracca	1600	Nee	TNB						8		1		
Viola palustris	524	Ja	TNB					30					

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL 31	OVL 32	OVL 33	OVL 34	OVL 35	OVL 36	OVL 37	OVL 38	OVL 39	OVL 40
Achillea millefolium	1646	Nee	TNB		3						3		
Agrostis canina	1037	Ja	TNB	3									
Agrostis capillaris	1590	Ja	TNB	8			8		8		3	3	3
Agrostis stolonifera	1655	Nee	TNB					30		8	8		9
Agrostis vinealis	673	Nee	TNB						3				
Alnus glutinosa	1573	Nee	TNB				9						
Anagallis tenella	74	Ja	TNB				3						
Anthoxanthum odoratum	1552	Nee	TNB		3				3	1	3		
Berula erecta	1258	Nee	TNB								3	1	
Betula pendula	1488	Nee	TNB	8	3			15					
Betula pubescens	1376	Nee	TNB	8	3		8						
Betula species		Nee									8		
Calamagrostis canescens	1223	Nee	TNB								3	3	
Calamagrostis epigejos	1416	Nee	TNB						1	15			
Calluna vulgaris	907	Ja	TNB	1	15		1		1				
Cardamine pratensis	1587	Nee	TNB			8			3				
Carex acutiformis	1099	Nee	TNB								3		
Carex arenaria	989	Ja	TNB						3	8	3		
Carex curta	728	Ja	TNB	3									
Carex disticha	1228	Nee	TNB			3		1					9
Carex flacca	632	Ja	TNB						3				
Carex hirta	1554	Ja	TNB				1			1			
Carex nigra	1228	Ja	TNB	1					1				1
Carex oederi	892	Ja	TNB	1			3		3		3		
Carex ovalis	1158	Nee	TNB				3						
Carex pallescens	204	Nee	TNB				3						
Carex panicea	832	Ja	TNB				1		1				
Carex trinervis	83	Ja	TNB						3				
Carlina vulgaris	89	Nee	B								1		
Centaurea jacea	1418	Ja	TNB			1							
Centaurium erythraea	655	Ja	TNB						1		1		
Cerastium fontanum	1659	Nee	TNB		1			1		3	3		
Ceratocapnos claviculata	921	Nee	TNB					1					
Cirsium arvense	1665	Nee	TNB				1	3		3			
Cirsium palustre	1350	Ja	TNB	3	1		3						
Cirsium vulgare	1660	Nee	TNB					1					
Cynosurus cristatus	1120	Ja	G							1		3	
Cytisus scoparius	1084	Nee	TNB						3				
Dactylis glomerata	1649	Nee	TNB							1			
Dactylorhiza incarnata	275	Ja	K								3		
Dactylorhiza majalis s. praetermissa	1005	Ja	TNB								3	1	
Danthonia decumbens	787	Ja	TNB	3					8				
Daucus carota	1496	Nee	TNB								1	1	
Deschampsia flexuosa	887	Nee	TNB		3								
Drosera intermedia	519	Ja	TNB	8									
Drosera rotundifolia	443	Ja	G	1									
Dryopteris carthusiana	1334	Nee	TNB					1					
Eleocharis palustris	1513	Nee	TNB							3	3		
Eleocharis quinqueflora	81	Ja	B										9
Epilobium montanum	1158	Nee	TNB										1
Epilobium parviflorum	1557	Nee	TNB									3	3
Epipactis palustris	311	Ja	K								15	1	
Equisetum arvense	1621	Nee	TNB							3	8		3
Equisetum palustre	1381	Ja	TNB									8	
Erica tetralix	771	Ja	TNB	3			1						
Eupatorium cannabinum	1540	Nee	TNB				1					1	
Euphrasia stricta	549	Ja	G						3		8	1	
Festuca filiformis	1237	Ja	TNB		15				8				
Festuca pratensis	1385	Nee	TNB					1					
Festuca rubra	1662	Nee	TNB	3	3			15	8	8			
Galium palustre	1460	Nee	TNB	3		8							
Galium uliginosum	807	Ja	TNB						1		8	3	
Genista pilosa	370	Ja	K				3						

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL 31	OVL 32	OVL 33	OVL 34	OVL 35	OVL 36	OVL 37	OVL 38	OVL 39	OVL 40
Gentiana pneumonanthe	356	Ja	G	1									
Geranium dissectum	1460	Nee	TNB							1			
Heracleum sphondylium	1598	Nee	TNB									1	
Hieracium pilosella	1201	Ja	TNB		8				3				
Hieracium vulgatum	960	Ja	TNB		8								
Hierochloe odorata	199	Nee	K								1		
Hippophae rhamnoides	416	Nee	TNB								3		
Holcus lanatus	1652	Nee	TNB	3	3	15	3	15	3	15	8	3	3
Hydrocotyle vulgaris	1136	Ja	TNB	1					1				
Hypericum perforatum	1471	Nee	TNB		1								
Hypericum tetrapterum	1167	Nee	TNB								1	3	
Hypochaeris radicata	1592	Ja	TNB	1			3		3		3		
Iris pseudacorus	1566	Nee	TNB									1	
Juncus acutiflorus	1025	Ja	TNB	8		3		1					
Juncus alpinoarticulatus	176	Ja	TNB						1				
Juncus articulatus	1577	Ja	TNB	3						1	8		8
Juncus bufonius	1611	Nee	TNB	1									1
Juncus conglomeratus	1324	Ja	TNB						8		1		
Juncus effusus	1580	Nee	TNB		3	8	15	30	3				
Juncus inflexus	889	Ja	TNB							3			
Juncus squarrosus	668	Ja	TNB	1			1						
Juncus subnodulosus	429	Ja	TNB								9	30	15
Juncus tenuis	1178	Nee	TNB		1		1						
Leontodon autumnalis	1633	Nee	TNB		3	3		1		1			
Leontodon saxatilis	1350	Ja	TNB				3		1				
Leucanthemum vulgare	1463	Nee	TNB		8								
Linum catharticum	310	Ja	K						1	1	3		
Lolium perenne	1653	Nee	TNB							8			
Lotus corniculatus	1487	Ja	TNB					3	3	3	8		
Lotus pedunculatus	1452	Nee	TNB	8	3		8			1	3	15	15
Luzula campestris	1413	Ja	TNB		8				8				
Luzula multiflora	1067	Ja	TNB								3		
Lychnis flos-cuculi	1354	Ja	TNB		3								
Lycopodiella inundata	511	Nee	TNB	3									
Lycopus europaeus	1563	Nee	TNB	3					1		1	1	8
Lysimachia vulgaris	1366	Nee	TNB	1							3	1	8
Lythrum salicaria	1489	Nee	TNB								8	8	8
Melampyrum pratense	478	Nee	TNB	1									
Melilotus altissimus	792	Nee	TNB									3	
Mentha aquatica	1549	Nee	TNB						1			15	9
Molinia caerulea	959	Nee	TNB	8									
Myosotis laxa + M. scorpioides	1477	Nee	TNB								1		
Myosotis laxa s. cespitosa	1351	Nee	TNB										8
Nardus stricta	569	Ja	G	3									
Narthecium ossifragum	125	Ja	K	1									
Ononis repens s. repens	235	Ja	TNB								1		
Ornithopus perpusillus	939	Ja	TNB		3				8				
Parentucellia viscosa	216	Nee	TNB							3			
Parnassia palustris	204	Ja	K	3							3	1	
Pedicularis palustris	302	Ja	K								3		
Pedicularis sylvatica	143	Ja	K	3									
Phalaris arundinacea	1581	Nee	TNB			3							
Phleum pratense s. serotinum	604	Nee	TNB						3				
Phragmites australis	1640	Nee	TNB	3							3	8	8
Pinus sylvestris	1005	Nee	TNB	1	3		3						
Plantago lanceolata	1655	Nee	TNB	1	3	30			1	1	8	3	
Poa pratensis	1646	Nee	TNB			30							
Poa trivialis	1639	Nee	TNB			15						8	
Polygala vulgaris	190	Ja	K	1					1				
Populus tremula	1332	Nee	TNB	1	1								
Potentilla anserina	1630	Nee	TNB						3			8	
Potentilla erecta	978	Ja	TNB	8			1	3	8				

Soort	Uur-hokken	Doel-soort	Rode lijst	OVL 31	OVL 32	OVL 33	OVL 34	OVL 35	OVL 36	OVL 37	OVL 38	OVL 39	OVL 40
Potentilla reptans	1368	Nee	TNB						3	1			
Prunella vulgaris	1578	Nee	TNB				3		1	1	3	3	
Prunus serotina	1307	Nee	?	1					1				
Quercus robur	1556	Nee	TNB		1								
Radiola linoides	77	Ja	B						3				
Ranunculus acris	1628	Nee	TNB					1			8	8	
Ranunculus repens	1649	Nee	TNB			15	3	15		3	8		
Rhinanthus angustifolius	1100	Ja	TNB								8	8	1
Rhynchospora alba	275	Ja	K	1									
Rorippa nasturtium-aquaticum	478	Nee	TNB								1		
Rubus caesius	1327	Nee	TNB								1		
Rubus fruticosus ag.	1613	Nee	TNB		1			15	3				
Rumex acetosa	1623	Nee	TNB		3			15					
Rumex acetosella	1519	Nee	TNB		3				3				
Rumex crispus	1644	Nee	TNB									1	3
Rumex obtusifolius	1640	Nee	TNB					1					
Salix alba	1561	Nee	TNB				3						
Salix aurita	1262	Nee	TNB	8	3		3				3		
Salix cinerea	1601	Nee	TNB					3				3	1
Salix repens	1099	Ja	TNB						1		15		
Scirpus species		Nee					1						
Senecio jacobaea	1573	Ja	TNB							8	3	1	
Sonchus species		Nee								1			
Sorbus aucuparia	1556	Nee	TNB	1									
Spergularia rubra	1123	Nee	TNB				3						
Stellaria graminea	1243	Nee	TNB		1								
Succisa pratensis	622	Ja	G	1		1							
Tanacetum vulgare	1538	Nee	TNB		1								
Taraxacum species		Nee			1		3	3		1			
Trifolium arvense	1234	Ja	TNB		1								
Trifolium dubium	1632	Nee	TNB								1		3
Trifolium pratense	1640	Nee	TNB		3		1		1	8	3	3	
Trifolium repens	1660	Nee	TNB				1		3	8		3	8
Tripleurospermum maritimum	1638	Nee	TNB				1						
Tussilago farfara	1605	Nee	TNB							1			
Vaccinium myrtillus	604	Nee	TNB	1									
Vicia cracca	1600	Nee	TNB								1	3	3
Vicia lathyroides	269	Ja	K		1					1			
Viola palustris	524	Ja	TNB	1									