

Bodemonderzoek en mogelijkheden voor natuur en landbouw op enkele percelen van landgoed Velhorst

****Concept****

Emiel Brouwer & Rick Kuiperij
B-WARE Research Centre
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Opdrachtgevers: Waterschap Rijn & IJssel, Vereniging Natuurmonumenten
Rapportnummer: RP-17.058.17.50
Auteurs: E. Brouwer, R. Kuiperij • Datum: 26 juni 2017

Titel rapport: Bodemonderzoek en mogelijkheden voor natuur en landbouw op enkele percelen van landgoed Velhorst

Opdrachtgevers: Waterschap Rijn & IJssel en Vereniging Natuurmonumenten

Auteurs:

E. Brouwer & R. Kuiperij

Rapportnummer: RP-17.058.17.50

Informatie:

Onderzoekcentrum B-WARE B.V.

Postbus 6558

6503 GB Nijmegen

Tel: 024-2122205

e.brouwer@b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2017.

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Functiewijziging voor waterberging, natuur & landbouw	3
2 Veldwerkzaamheden & analysemethoden	6
2.1 Veldwerkzaamheden	6
2.2 Analysemethoden	7
3 Historische situatie	9
4 Resultaten	11
4.1 Bodem en vegetatie	11
4.2 Hydrologie & watersamenstelling	13
4.3 Bodemsamenstelling	15
5 Ontwikkelingsmogelijkheden van de onderzochte percelen	21
5.1 Gronden langs de Berkel (15/S01 en 15/0)	21
4.2 Gronden langs de Velhorster Laak (10B en 10C)	24
6 LITERATUUR	25
Bijlagen	26

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

De Berkel is een laaglandbeek die vanuit Duitsland, via Overijssel en Gelderland naar de IJssel stroomt. Het Waterschap Rijn & IJssel is bezig met een herinrichting van het Gelderse deel van het stroomdal en bekijkt momenteel de inrichtingsmogelijkheden op het traject Lochem-Almen. Een onderdeel daarvan is de herinrichting van gronden op Landgoed Velhorst, eigendom van de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten. Het Waterschap en Natuurmonumenten hebben aan onderzoekcentrum B-WARE gevraagd inschatting te maken van de ontwikkelingsmogelijkheden van diverse typen grasland op basis van de bodemopbouw en een aantal randvoorwaarden.

1.2 Functiewijziging voor waterberging, natuurontwikkeling en landbouw

Benedenstreams van Lochem is de Berkel een sterk gereguleerde beek. De beekloop is genormaliseerd en sterk verbreed, waarmee de afvoer capaciteit fors is vergroot. Vervolgens zijn bij Lochem en verder bovenstreams overlaten richting het Twentekanaal aangelegd, waarmee de meeste piek-afvoeren worden afgevoerd. De standaard afvoer is nog slechts enkele kuubs per seconde. Alleen bij extreem hoge afvoeren die gemiddeld eens per honderd jaar voorkomen, moet ook de Berkel benut worden. De mogelijkheid bestaat echter om ook kleinere piekafvoeren deels via de Berkel te laten lopen.



Figuur 1: Ligging van de te onderzoeken percelen langs de Berkel ten westen van Lochem. Ondergrond: Google earth.

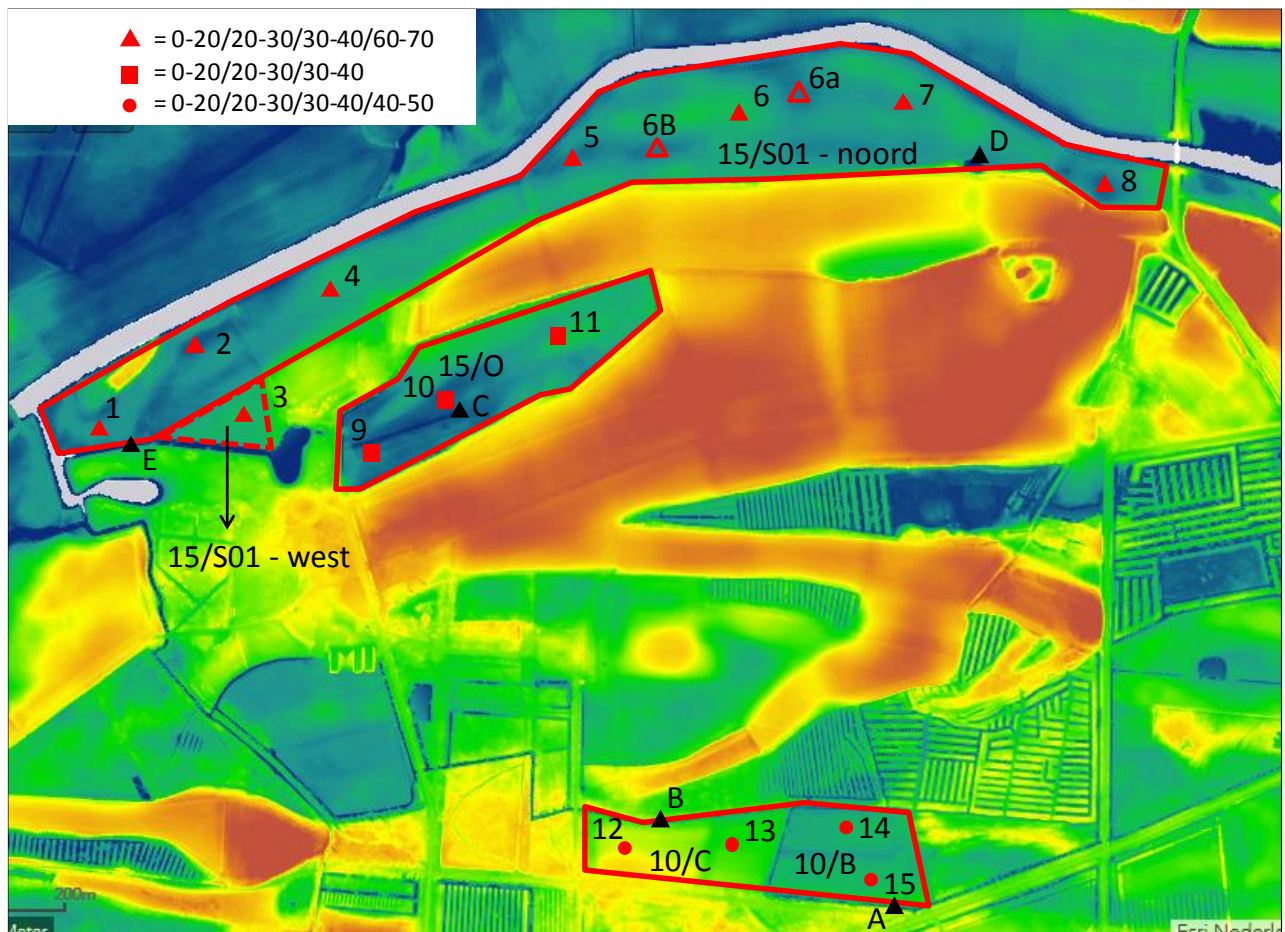
Het Waterschap wil de natuurwaarden in en langs de Berkel vergroten, onder meer om te voldoen aan de Kaderrichtlijn Water en om de natuurgebieden langs de Berkel beter met elkaar te verbinden. Een ne-
vendoel is om de bergingscapaciteit voor water in het beekdal te vergroten, waarmee de klimaatbesten-
digheid vergroot wordt. Mogelijke middelen die ingezet kunnen worden in het Berkeldal ter hoogte van
Landgoed Velhorst zijn ontgroning (tot maximaal ongeveer 70 cm diepte), verlegging van de loop van de
Berkel, herprofilering van de oevers en stroomopwaarts verplaatsen van de stuw aan de noordwestkant
van het landgoed.

Het Landgoed Velhorst is een oud cultuurlandschap, waar bossen en agrarisch gebruikte graslanden en
akkers elkaar afwisselen. Natuurmonumenten wil deze afwisseling in stand houden en heeft een voorkeur
voor de ontwikkeling van graslanden met natuurwaarden die tevens extensief agrarisch gebruikt kunnen
worden. Daarnaast is er ook ruimte voor andere graslandtypen, al naar gelang de potenties van het ge-
bied. Langs de Berkel liggen enkele percelen die deels als grasland en deels als akker in gebruik zijn. Op
deze percelen kan mogelijk een glanshaverhooiland ontwikkeld worden. Verder liggen er twee percelen
langs de Velhorster Laak, een oude gegraven waterloop ten zuiden van de Berkel. Hier is de vraag wat
hier de potenties zijn voor de ontwikkeling richting schraalgrasland.

2 VELDWERKZAAMHEDEN & ANALYSEMETHODEN

2.1 Veldwerkzaamheden

Het terrein is tweemaal bezocht, op 24 april en 1 mei 2017. Tijdens het eerste bezoek zijn bodemprofielen geboord, enkele vegetatie-opnamen gemaakt, enkele (porie-)watermonsters verzameld en de locaties voor de bodembemonstering vastgelegd. Tijdens het tweede bezoek heeft een veldploeg de bodemmonsters verzameld.



Figuur 2: De te onderzoeken percelen weergegeven op een hoogtekarte (www.ahn.nl). Weergegeven zijn de codes van de percelen, de punten waar bodemmonsters (rode symbolen met cijfers) of (porie-)watermonsters (zwarte driehoekjes, letters) zijn verzameld, en de diepte (cm) waarop bodemmonsters zijn genomen.

2.2 Analysemethoden

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem en plantmateriaal te destructuren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruueerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruktaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. De destruktaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Olsenextractie

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,4 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Standaardmetingen oppervlakte-, grondwater en bodemvocht

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl2 elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l⁻¹ zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De extinctie (450 nm) van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Biotek plaatreader. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -20 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.

Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

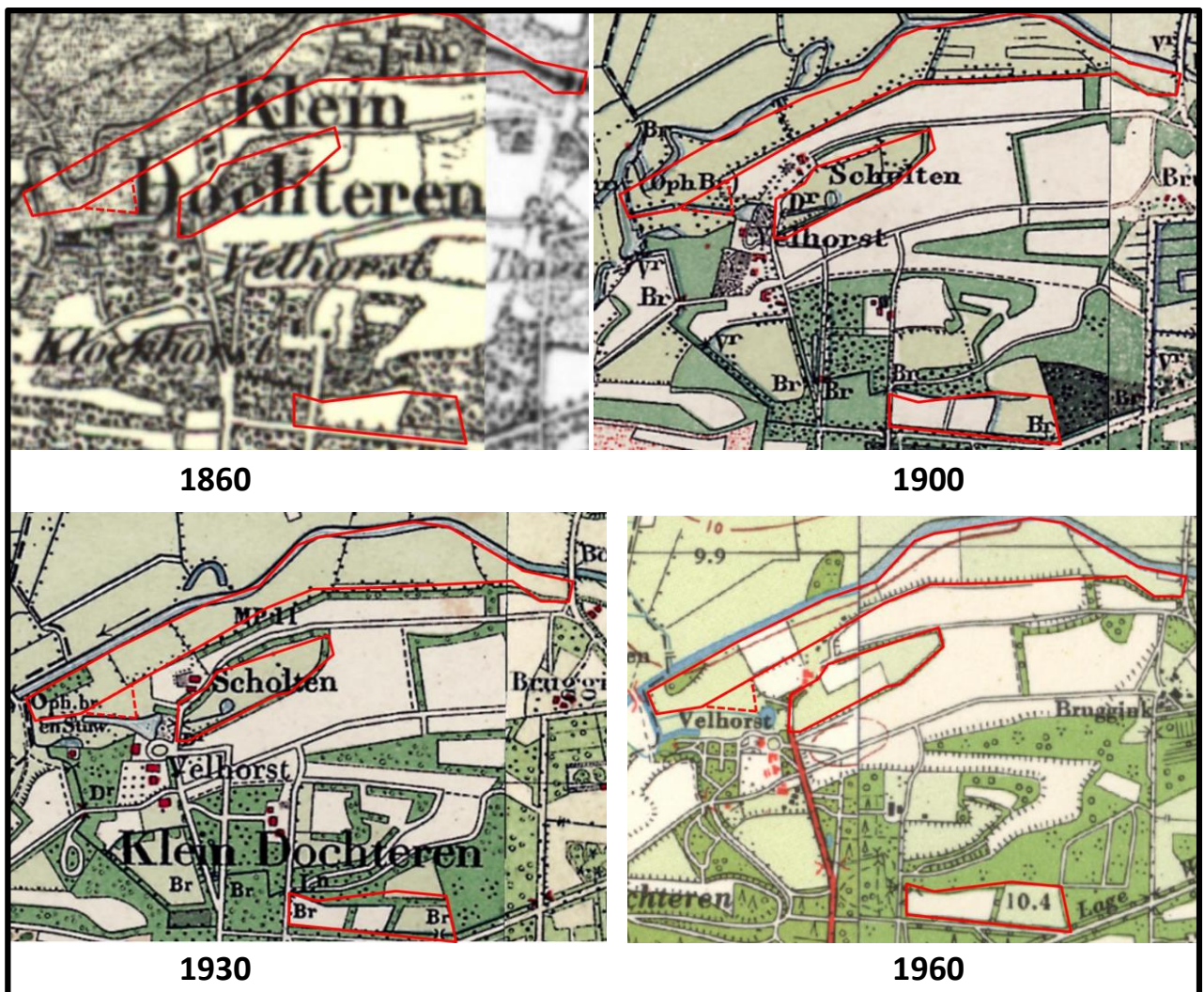
De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl⁻) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III

systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 HISTORISCHE SITUATIE

Landgoed Velhorst heeft al grofweg zijn huidige vorm op de topografische kaart van 1860 (figuur 3). De Berkel heeft dan nog een meanderende loop en de percelen in het beekdal zijn als grasland in gebruik, of zijn met (hakhout-?)bos begroeid. Dit geldt ook voor de percelen 15/0 en 10/C. De hoger gelegen percelen, inclusief perceel 10C, zijn in agrarisch gebruik.

Rond 1900 zijn alle laaggelegen percelen als grasland ingetekend en de hoger gelegen percelen als bouwland. Op perceel 15/S01 staan watergangen ingetekend, die deels ook verbonden zijn met de Berkel. Dit suggereert dat er periodiek afvoer van grondwater of stagnerend regenwater nodig was. Op perceel 15/0 is een poel zichtbaar, die naar het westen toe lijkt af te voeren op watergangen die in verbinding staan met de Berkel.



Figuur 3: Enkele impressies van Landgoed Velhorst op 4 verschillende tijdstippen, met rood omlind de onderzochte percelen: 15/S01 (bovenste), 15/0 (middelste) en 10B/C (onderste). Bron: www.topotijdreis.nl.

Op de kaart van rond 1930 is de Berkel inmiddels genormaliseerd en gestuwd. De sloot in perceel 15/S01 is niet meer getekend. Op de percelen 15/0 en 10B&C lijkt weinig te veranderen. Rond 1960 worden de eerste percelen langs de Berkel in gebruik genomen als bouwland. Deze omzetting in bouwland blijft doorgaan tot in de 21^e eeuw, maar de percelen ter hoogte van huize Velhorst en het perceeltje tegen de Boevinkbrug lijken altijd grasland te zijn gebleven. Opmerkelijk op de kaart van

1960 is dat delen van perceel 15/0 als bouwland in gebruik zijn. De poel is dan inmiddels verdwenen, evenals de sloot. Deze sloot is wel weer zichtbaar op de kaart van 1990. Evenals op dit moment lijkt er dan al geen afwatering meer naar het westen te zijn. Rond 1995 is ook het oostelijk perceeltje nabij de Boevinkbrug als bouwland afgebeeld, op de kaart van 1997 is dit weer grasland.

4 RESULTATEN

4.1 Bodem en vegetatie

Percelen 10/B en 10/C

Perceel 10/B bestaat uit een noordelijke en een zuidelijke helft, die door een strook ruigtevegetatie van elkaar gescheiden zijn. De bodem bestaat uit zandgrond. Er is een 30-35 cm dikke bouwvoor aanwezig, met daaronder een 15 cm dikke overgang naar zand met roestvlekken. Het waterpeil in de omringende watergangen ligt ongeveer een meter beneden maaiveld. De ruige strook door perceel 10B betreft mogelijk een voormalige sloot die gedempt is. Het is nu een ruigte van Pitrus (*Juncus effusus*), maar er is ook Blaaszegge (*Carex vesicaria*) aanwezig. Op veel plekken langs de watergang, onderdeel van de voormalige Velhorster Laak, zijn plantensoorten aanwezig die kwel indiceren, met name Blaaszegge en IJle zegge (*Carex remota*). Perceel 10/C ligt wat hoger; de Velhorster Laak snijdt hier nog dieper in (figuur 4). Hier is Sterzegge (*Carex echinata*) aangetroffen en zijn ijzervliezen aanwezig. De vegetatie op de percelen 10B en 10C bestaat vooral uit Engels raaigras (*Lolium perenne*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*) en Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*). Opvallend is dat Gewone ereprijs (*Veronica chamaedrys*) op veel plekken aanwezig is.

Perceel 15/O

Perceel 15/O ligt ingesloten tussen een weg aan de westkant en hoger liggende percelen aan de andere kanten. Ondanks dat de lage delen van dit perceel tot de laagste van de omgeving behoren, zijn er weinig of geen vochtminnende plantensoorten aanwezig. Alleen de greppel door de laagte is tijdens het bezoek nat. De bodem bestaat uit een ongeveer 60 cm dikke, zavelige bodem op een zandondergrond. Deze zavelbodem laat vermoedelijk minder goed water door en mogelijk is de greppel gegraven om de wegzijging door deze zavelige laag te verbeteren; voor 1960 is mogelijk ook een afwatering onder de weg door aanwezig geweest. Op dit moment zijn nauwelijks kenmerkende soorten van stroomdalgrasland aanwezig; op de laagst gelegen plekken groeien onder meer Ruige zegge (*Carex hirta*), Geknikte vossenstaart (*Alopecurus geniculatus*) en Zomprus (*Juncus articulatus*). Op de trapgaten langs de greppel staat veel Knikkertjesmos (*Physcomitrium pyriforme*). Hierop is een paddenstoeltje gevonden uit het geslacht *Octospora* (mosschijfje). Mogelijk betreft dit een nog onbeschreven soort; de sporenkenmerken lijken op geen van de momenteel beschreven soorten.

Percelen langs de Berkel (o.a. 15/S01)

Langs de Berkel bestaat de grond uit een 50 tot soms 80 cm dikke laag lichte klei of zavel, op de bodemkaart van Nederland aangeduid als poldervaaggrond. Deze is tamelijk rood, waarschijnlijk door een hoog ijzergehalte (figuur 6). Onder deze laag is zand aanwezig. Roestverschijnselen zijn tot in de bouwvoor waarneembaar en beneden 60-70 cm onder maaiveld is het zand gereduceerd (figuur 5). In de oostpunt is een perceeltje aanwezig dat slechts extensief benut wordt. In de laagte in het midden van het perceel is een beginnende verschraling zichtbaar, met soorten als Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*), Zomprus en Hazenzegge (*Carex ovalis*). Waarschijnlijk stagneert er in natte perioden ook langdurig water op de kleilaag. Het grote perceel 15/S01 is als akker in gebruik en hier is de rode kleur van de kale klei goed zichtbaar. In de laagste delen liggen steenharde ijzerbrokken aan het oppervlak (figuur 6). De poel aan de zuidoostkant van perceel 15/S01 bevat nauwelijks waterplanten. Wel is Blaaszegge aanwezig langs de rand. Het perceel in de westpunt is als schapenwei in gebruik en de vegetatie bestaat uit een soortenarme, door Engels raaigras gedomineerde vegetatie. Op de overgang naar het pad langs de Berkel is op 1 plek Bosbies (*Scirpus sylvaticus*) aangetroffen.



*Figuur 4: Velhorster Laak aan de noordkant van perceel 10/C, waar een kop doorsneden wordt. Hier zijn o.a. Sterzegge (*Carex echinata*), IJle zegge (*C. remota*) en Blaaszegge (*C. vesicaria*) aanwezig en is een monster genomen van het kwelwater.*



Figuur 5: Bodemprofiel in het overhoekje ten oosten van perceel 15/S01. Zichtbaar is een laag rode klei op gereduceerd, grijs zand.



Figuur 6: Perceel 15/S01 vanaf de oostkant, met links achter de boom de poel en in de inzet harde ijzerbrokken die op lage delen van het perceel zijn aangetroffen.

4.2 Hydrologie & watersamenstelling

Het terrein op Landgoed Velhorst en in de omgeving wordt gekenmerkt door een vrij uitgesproken patroon van ruggen en slenken (figuur 2). In de loop der tijd heeft de Berkel vaak zijn loop verlegd, waarbij gevormde stroomgeulen en oeverwallen weer doorsneden zijn. In en langs de stroomgeulen is beekleem afgezet (formatie van Singraven), waarboven later door windwerking vaak ook weer zand is afgezet (Kleijer, 2000). In veel van de huidige slenken zijn watergangen gegraven, zowel in laag gelegen slenken als in hoger gelegen slenken. Dit duidt erop dat er ondoorlatende lagen in de ondergrond aanwezig zijn, waarop ook in hoger gelegen slenken water kan stagneren; leem- of kleilagen die door beken zijn afgezet (formatie van Singraven, formatie van Twente).

De percelen 10B en 10C liggen op een hoogte van 10,5 respectievelijk 11 meter NAP, terwijl de laagste delen in het dal van de Berkel iets beneden 10,0 meter NAP liggen. Opmerkelijk is dat de percelen langs de Berkel goed gedraineerd zijn, zonder dat hier nog watergangen aanwezig zijn. Het peil van de Berkel ligt ter hoogte van Landgoed Velhorst op ongeveer 9,5 meter + NAP. Kennelijk is dit voldoende voor een goede drainage. Aan de zuidkant van perceel 15/S01 is een poel gegraven, waarvan het waterpeil op ongeveer 9,40 meter +NAP ligt, wat eerder lager dan hoger dan het Berkelpeil is. Het water in deze poel is slechts matig gebufferd, en arm aan kooldioxide (tabel A). Dat duidt op een hooguit geringe invloed van grondwater. Het lijkt er dus op dat de Berkel op dit traject niet drainerend werkt op de Velhorst, mogelijk ook als gevolg van het opstuwen. Ook zijn aan de voet van de oeverwal aan de zuidkant, waar ook de poel ligt, geen plantensoorten aangetroffen die duiden op zijdelingse toevoer van grondwater. Alleen aan de westkant (figuur 2, bij locatie 2) is enkele meters van de Berkel een groeiplaats van Bosbies aanwezig.

Deze duidt hier waarschijnlijk eerder op zijdelings weglekken van gestuwd Berkelwater, dan op zijdelingse toestroom van grondwater.

Perceel 15/0 ligt lager dan de gronden langs de Berkel; het laagste punt ligt op ongeveer 9,7 meter + NAP en de aanwezige greppel snijdt nog wat dieper in. Voordat de Berkel gestuwd werd, was er waarschijnlijk een afwatering in noordwestelijke richting aanwezig (figuur 3). Op de lage delen van het perceel is in de bovenste halve meter een kleihoudende laag aanwezig waarop makkelijk water stagneert. Mogelijk is de greppel gegraven om de kleilaag te doorgraven en zo de drainage naar de ondergrond te verbeteren. Op perceel 15/0 is porievocht verzameld uit de bodem van de greppel. Dit is zeer sterk gebufferd (12 meq./liter), extreem rijk aan ijzer (2,3 mm/l = 130 mg/liter) en kalium en rijk aan ammonium en fosfor (tabel A, nr. C). IJzer lost doorgaans alleen in zulke hoge concentraties op wanneer er sprake is van een tamelijk stagnante situatie waardoor er zuurstofloze condities ontstaan en er voldoende tijd is om ijzerhydroxiden te reduceren tot het oplosbare Fe²⁺. Waarschijnlijk stroomt er water van andere delen van het perceel naar deze laagte toe, waarna er geleidelijk verdamping en infiltratie plaatsvindt. Dat zou in ieder geval het zeer hoge kaliumgehalte verklaren. Ook in dit zeer laag gelegen perceel lijkt dus geen sprake te zijn van toestroom van grondwater. Mogelijk wordt dit weggetrokken naar de poel ten westen van het perceel, die via een sloot in verbinding staat met de Berkel. In ieder geval moet er sprake zijn van een goed doorlatende, watervoerende laag die in contact staat met de Berkel, die alle gronden in en om het Berkeldal draineert.

Wat verder ten zuiden van het Berkeldal zijn uitgebreide greppel- en rabattensystemen zichtbaar op de hoogtekkaart, wat erop duidt dat de invloed van zo'n drainerende, watervoerende laag hier beperkt is. In dit deel liggen ook de percelen 10B en 10C. De oude loop van de Velhorster Laak werkt hier duidelijk drainerend; op sommige trajecten zijn ijzervliezen en roestverschijnselen aanwezig. Rond perceel 10 is op twee locaties met indicaties voor kwel poriewater opgezogen uit de slootwand (tabel A, nummers A en B). Dit water is kalkrijk (4-6 meq./ buffering), ijzerhoudend, arm aan stikstof en fosfaat en vrij sulfaatarm. Wanneer dit kwelwater tot in maaiveld kan komen liggen er goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland. Dit lijkt hooguit haalbaar voor de laagste delen van perceel 10/B, en alleen indien daar de fosfaatrijke toplaag wordt verwijderd.

Tabel A: Samenstelling van het porievocht op 2 kwelplekken op 10 en 100 cm diepte, het porievocht in de toplaag van de bodem in het alluviale bos, en van het oppervlaktewater op 2 locaties. Locaties zie figuur 2.

nr	Omschrijving	pH	Buf.cap meq/l	CO2 µmol/l	HCO3 µmol/l	NO3 µmol/l	NH4 µmol/l	PO4 µmol/l	Na µmol/l	K µmol/l	Cl µmol/l	HCO3 µmol/l
A	PW kwelsloot perceel 10/B	7,148	7	1081	6311	2,3	6	0,4	2990	31	4497	6311
B	PW kwelsloot perceel 10/C	6,956	4	1097	4115	1,4	9	2,4	2304	129	2598	4115
C	PW kwelsloot perceel 15/O	6,662	13	6248	11906	4,2	681	5,3	1323	2315	1459	11906
D	Poeltje perceel 15/S01	7,473	2	102	1264	0,1	3	0,8	547	283	528	1264
E	Afvoersloot poel westpunt	7,808	6	247	6585	0,5	2	0,6	664	232	674	6585
nr	Omschrijving	Al µmol/l	Ca µmol/l	Fe µmol/l	K µmol/l	Mg µmol/l	Mn µmol/l	Na µmol/l	P µmol/l	S µmol/l	Si µmol/l	Zn µmol/l
A	PW kwelsloot perceel 10/B	1,3	3810	25	36	579	4	3134	1	430	129	1
B	PW kwelsloot perceel 10/C	1,4	1996	45	159	340	8	2345	6	146	160	2
C	PW kwelsloot perceel 15/O	10,3	2640	2317	2903	1340	62	1328	135	381	397	2
D	Poeltje perceel 15/S01	0,7	456	22	301	156	0	568	2	60	5	0
E	Afvoersloot poel westpunt	0,8	3184	14	249	446	5	661	1	487	97	0

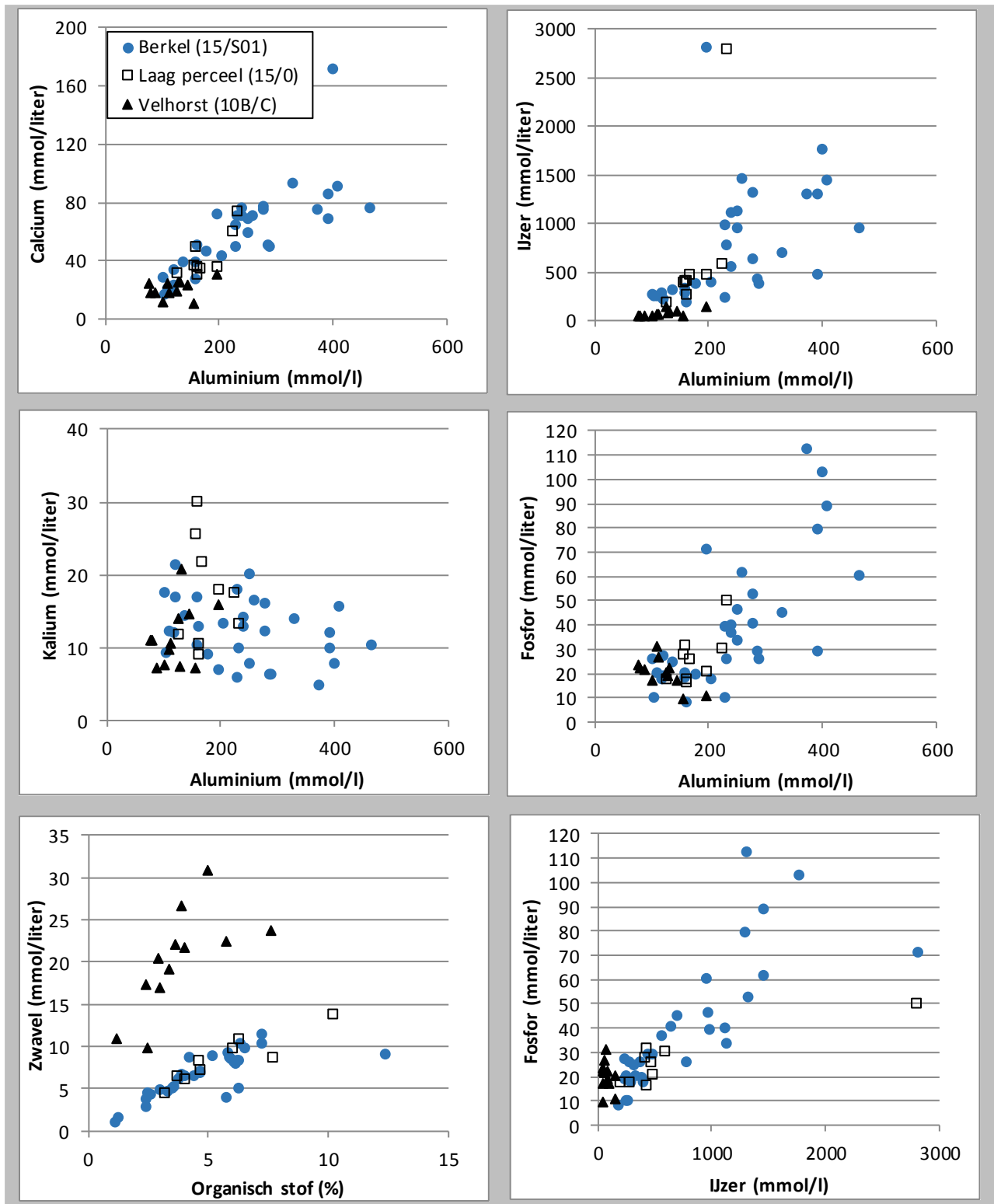
4.3 Bodemsamenstelling

De bodemsamenstelling in het terrein is divers. Langs de Berkel is een zavelige tot kleiige bodem aanwezig die op de bodemkaart aangeduid staat als poldervaaggrond, terwijl daarbuiten sprake is van zandgrond: veldpodzolen en enkeerdgronden. In de interpretatie van de analysesresultaten zijn daarom de resultaten van de percelen langs de Berkel en het zuidelijke perceel 10B/C gescheiden gehouden. Ook het laag gelegen perceel 15/0 is apart weergegeven (figuur 7).

De percelen langs de Berkel vallen op door hun hoge ijzergehalte. Regelmatig is meer dan een mol (56 gram) ijzer per liter verse bodem aanwezig (figuur 7). Tevens is een vrij goede correlatie aanwezig met het fosforgehalte, maar geen correlatie met het aluminiumgehalte. Wanneer ijzer vooral aanwezig is in kleimineralen, is de correlatie met aluminium sterk. IJzer is dus in niet minerale vorm aanwezig, waarschijnlijk als ijzerhydroxide. Dat verklaart ook de tamelijk rood-oranje kleur van de pas geploegde percelen in april 2017. Dit ijzer is vermoedelijk meegekomen met grondwater en bij uittreding neergeslagen als ijzerhydroxide: $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Dit weegt 107 gram per mol, wat erop neer komt dat er tot 300 gram (2816 millimol) ijzerhydroxide in deze bodem gemeten is! De correlatie met fosfor duidt erop dat er tevens fosfaat is meegekomen met het grondwater, dat onmiddellijk is gebonden aan de ijzerhydroxiden.

Het perceel 15/0 lijkt qua bodemsamenstelling vrij veel op de percelen langs de Berkel. Wel zijn de meeste gehalten aan de lage kant, wat erop duidt dat het aandeel zand hier al groter is.

De percelen 10B en 10C, langs de Velhorster Laak bestaan duidelijk uit zandgrond. Met name het gehalte mobiliseerbaar aluminium is hier laag, maar ook veel andere elementen.



Figuur 7: Enkele correlaties tussen elementen die gemeten zijn na een extractie van de bodems met sterk zuur.

Percelen langs de Berkel

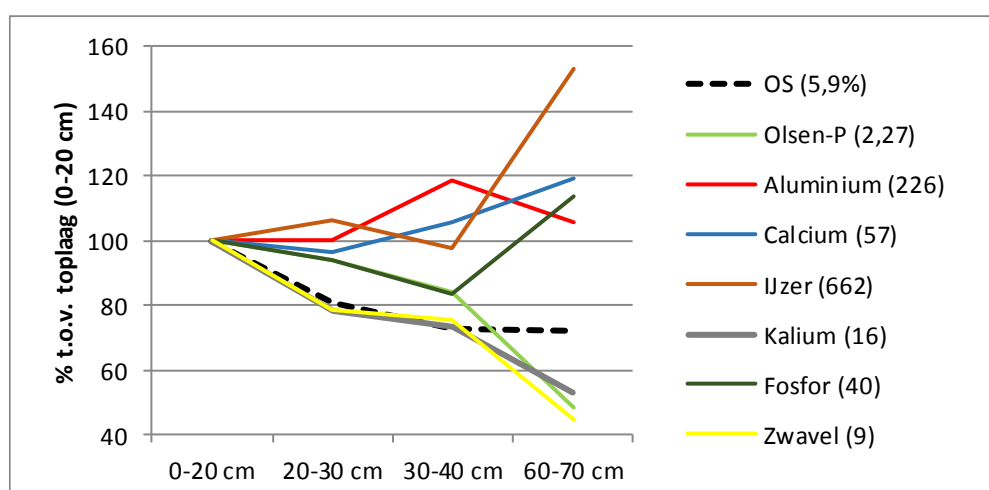
Het ijzergehalte in de percelen langs de Berkel is in de toplaag gemiddeld 662 millimol per liter, wat overeenkomt met bijna 4% ijzer of 8% ijzerhydroxide op gewichtsbasis. Dit ijzer is vermoedelijk vooral aanwezig als ijzerhydroxide, gebaseerd op de relatief lage aluminiumgehalten (dat vooral in kleimineralen zit) en de rode kleur van de bodem. Toch is de fosfaatbeschikbaarheid in de toplaag, met een Olsen-P van 2,3 millimol per liter, vrij hoog en kenmerkend voor landbouwbodems (van Mullekom e.a., 2013; figuur 7). Het ijzerhydroxide is vermoedelijk weinig actief omdat het in de permanent geoxideerde toplaag nauwelijks fosfaat kan binden. Lokaal heeft de hoge ijzerrijkdom geleid tot de vorming van steenharde ijzerbrokken (figuur 6). In de geologie worden dergelijke ijzerafzettingen tot het mineraal limoniet gerekend.

Fosfaatbemesting zou in de toplaag terug te meten moeten zijn doordat hier naar verhouding meer fosfaat aanwezig is. Echter, de verhouding tot bijvoorbeeld ijzer is in de bovenste 20 cm nauwelijks anders dan op 60-70 cm diepte (figuur 9). Er is naar verhouding wel iets meer fosfaat aanwezig in de toplaag, maar ook daar lijkt het meeste fosfaat toch uit dezelfde bron afkomstig als het ijzer.

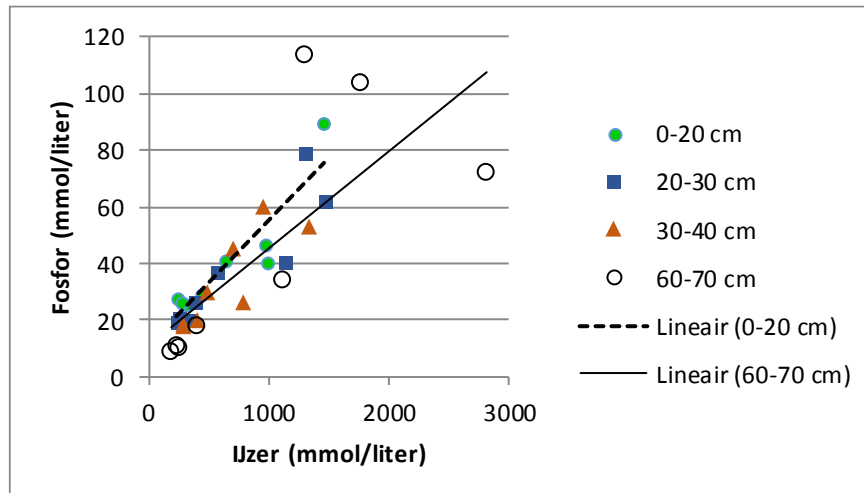
De totale hoeveelheid fosfor is met 40 millimol per liter in de toplaag ook in de range van een bemeste landbouwbodem (figuur 8). Opvallend is dat deze hoeveelheid in de diepte niet afneemt; op 60-70 cm diepte is gemiddeld zelfs iets meer fosfaat aanwezig. Kennelijk is er in het verleden veel meer fosfaat aangevoerd met het grondwater dan met de huidige bemesting. Wel opvallend is dat de fosfaatbeschikbaarheid op 60-70 cm diepte 2x lager is dan in de toplaag. Op deze diepte is de bodem periodiek anaeroob. IJzerhydroxiden gaan dan in oplossing, waarbij gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) gevormd wordt. Onder aerobe condities slaat dit ijzer neer en hiermee ook fosfaat.

Overigens is de invloed van bemesting wel af te lezen aan andere parameters. In de toplaag is meer organisch materiaal aanwezig, wat doorgaans de belangrijkste bron is voor nalevering van stikstof. Ook zwavel zit voornamelijk in deze organische stof (figuur 8). Kalium kan in grote hoeveelheden aanwezig zijn in kleimineralen, maar in de Berkel lijkt ook het meeste kalium afkomstig van bemesting, gezien de ophoping in de bovenste bodemlagen. Het calciumgehalte bedraagt ongeveer 60 millimol per liter, wat ongeveer 10x zo veel is als in kalkloze, zure zandgronden.

De bodem laat zich karakteriseren als een kalkarme, kaliumarme lichte klei of zavel, met zeer veel ijzer. De zuurgraad is niet gemeten, maar waarschijnlijk is deze bodem ongeveer pH-neutraal.

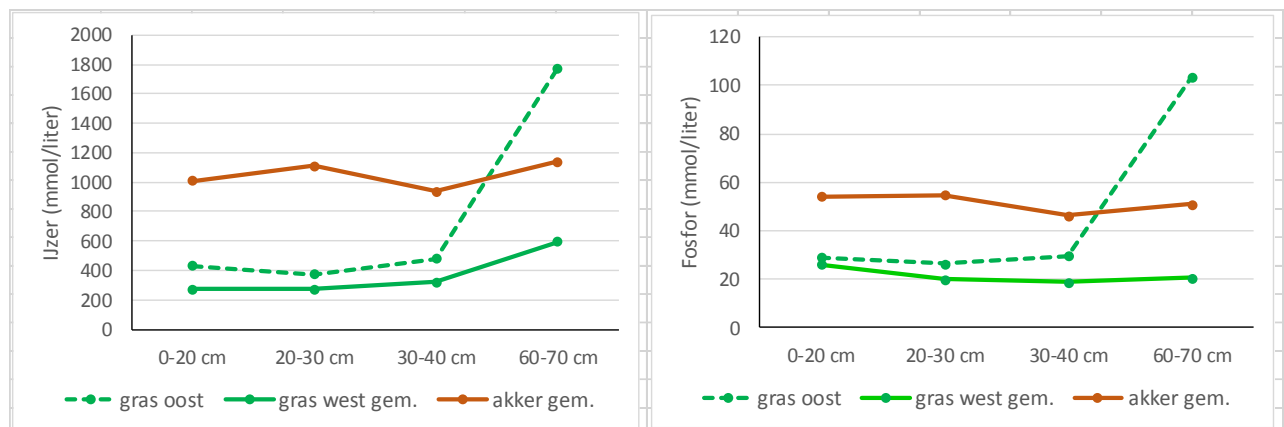


Figuur 8: Verloop van een aantal bodemkarakteristieken vanaf de toplaag tot 70 cm diepte in de percelen langs de Berkel. De toplaag is op 100% gesteld, in de legenda zijn de exacte waarden van de toplaag weergegeven in millimol per liter verse bodem.



Figuur 9: IJzer-fosfaat ratio in de bodem van de percelen langs de Berkel, uitgesplitst naar de diepte waarop de bodemonsters genomen zijn.

Op het graslandperceeltje tegen de Boevinkbrug, in de oostpunt, was een wat soortenrijkere vegetatie aanwezig die duidt op een beginnende verschraling. De hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat is hier teruggelopen naar 1,44 millimol per liter, ongeveer 2/3 van de gemiddelde waarde op de overige percelen langs de Berkel. De verschillen in kaliumgehalte zijn nog groter: 6 tegen gemiddeld 16 millimol. Kennelijk wordt hier al enige tijd niet meer bemest en hebben de wisselende vocht (en redox-)condities geleid tot een versterkte binding van fosfaat aan ijzer. Opvallend is dat de ijzergehalten in de bovenste 40 cm vrij hoog zijn, maar op 60-70 cm extreem hoog (figuur 10). Mogelijk vindt er door de periodiek natte omstandigheden en de inzigging neerwaarts ijzertransport plaats, waardoor geleidelijk een ijzeroer-bank gevormd wordt. De vorming van een ijzeroerbank hoeft slechts enkele decennia te duren (<http://www.geologievannederland.nl/zwerfstenen/beschrijvingen/ijzeroer>).



Figuur 10: Totale gehalten aan ijzer en fosfor in de percelen grenzend aan de Berkel. Er is onderscheid gemaakt tussen de permanente graslanden in de westpunt (3 meetpunten), de akker in het midden (15/S01, 4 punten) en het grasland perceeltje aan de oostpunt bij de Boevinkbrug (1 punt).

De graslandpercelen aan de westkant zijn aanzienlijk armer aan ijzer dan de overige percelen langs de Berkel (figuur 10). Voor fosfaat is exact hetzelfde patroon zichtbaar. Wel is de fosfaatbeschikbaarheid in

de westelijke graslanden gemiddeld duidelijk lager dan in de akker. Op 60-70 cm diepte bedraagt deze zelfs maar 0,63 millimol per liter.

Laag gelegen perceel 15/0

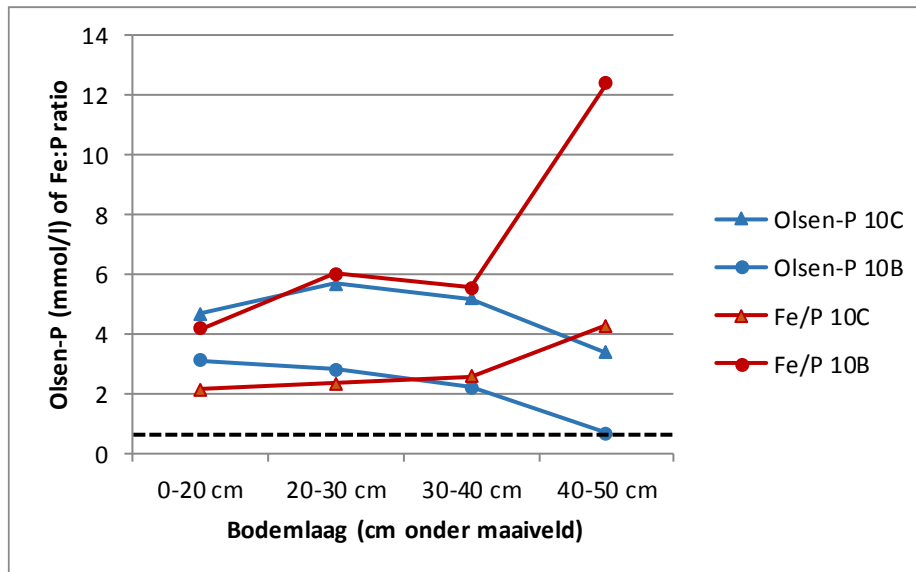
Het perceel 15/0 kent in de toplaag een vrij hoge fosfaatbeschikbaarheid, die kenmerkend is voor bemeste zandgronden. Er is een vrij soortenarme grasmat aanwezig. De Olsen-P waarden liggen tussen de 1,5 en 2 millimol per liter (tabel B). Op het hogere, oostelijke deel blijven deze ook op 30-40 cm diepte hoog. Maar in de lager gelegen delen is op deze diepte meer ijzer aanwezig, wat de beschikbaarheid van fosfaat sterk verlaagt. Ook hier geldt dat in het bereik van het grondwater afwisseling van aerobe en anaerobe omstandigheden plaatsvindt, waardoor binding van fosfaat aan ijzer plaats kan vinden. Dit leidt tot een Olsen-P van 0,8 tot 0,9 millimol per liter, wat bijvoorbeeld kenmerkend is voor Dotterbloemhoi-landen en Kievitsbloemgraslanden.

Tabel B: Samenvatting van de analysesresultaten van de bodems van perceel 15/0. OS = organisch stof.

	Laag	Locatie	OS (%)	Olsen-P mmol/l	Destructie (millimol per liter verse bodem)						
	(cm -mv)				Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
9	0-20	15/0 west	8	1,56	126	32	192	12	25	18	8,8
9	20-30		4	1,36	161	36	277	11	25	18	6,5
9	30-40		3	0,92	162	31	421	9	22	17	4,5
10	0-20	15/0 mid	10	2,08	157	50	422	30	36	32	13,9
10	20-30		6	1,25	224	60	593	18	42	31	9,8
10	30-40		5	0,77	233	74	2793	13	43	50	8,3
11	0-20	15/0 oost	6	1,91	155	37	406	26	27	28	10,9
11	20-30		5	2,17	167	35	472	22	26	26	7,3
11	30-40		4	1,51	195	36	475	18	27	21	6,2

Percelen langs de Velhorster Laak

In tegenstelling tot de kleiige gronden langs de Berkel zijn de zandgronden langs de Velhorster Laak vrij arm aan ijzer en calcium. Ook de totale fosforvoorraad is hier veel lager. Langs de Berkel is in de toplaag gemiddeld 40 millimol fosfor aanwezig per liter verse bodem, terwijl dat op perceel 10C 23-24 millimol is, en op perceel 10B 22 millimol op het noordelijk deelperceel en slechts 15 millimol op het zuidelijk deelperceel. Echter, door de vrij lage calcium- en ijzergehalten kan fosfaat in deze zandbodems slechts matig worden gebonden, wat resulteert tot extreem hoge fosfaatbeschikbaarheden op perceel 10C en ook nog altijd hoge waarden op perceel 10B (figuur 11). Op het wat hoger gelegen perceel 10C is ook op 40-50 cm diepte nog 10 tot 19 millimol fosfaat aanwezig, terwijl ook daar weinig ijzer te vinden is. Dit resulteert in een fosfaatbeschikbaarheid die ook op deze diepte nog een factor 5 te hoog is voor de ontwikkeling van natte schraallanden. Op het lager gelegen perceel 10b is de situatie op 40-50 cm diepte beduidend gunstiger. Hier wordt een laag aangesneden die rijker is aan ijzer, wat de fosfaatbeschikbaarheid verlaagt tot 0,5-0,7 mmol per liter. Dit bevindt zich ongeveer op de bovengrens van de waarde voor natte schraallanden (figuur 11).



Figuur11: Fosfaatbeschikbaarheid en ijzer-fosfaat ratio op de percelen 10B en 10C langs de Velhorster Laak. De zwarte stippellijn geeft de bovengrens van de fosfaatbeschikbaarheid weer voor natte schraallanden op zandgrond.

5 Ontwikkelingsmogelijkheden van de onderzochte percelen

5.1. Gronden langs de Berkel (15/S01 en 15/0)

Het meest in het oog springende aspect van de gronden langs de Berkel is de zeer hoge ijzerrijkdom, vooral in de centraal gelegen akker en in het graslandperceeltje in de oostpunt. Hoge ijzergehalten zijn in Nederland vrijwel altijd het gevolg van afzetting van ijzerrijk sediment of ijzerafzetting door ijzerrijk grondwater. Kenmerkende vegetaties zijn dan ook vochtminnend; met name vegetaties uit het Dotterbloemverbond zijn kenmerkend. Op dit moment is er bijna nergens sprake van vochtige of natte omstandigheden. Interessante uitzondering is de natte plek in het graslandje bij de Boevinkbrug. Dit graslandje is ongeveer 20 jaar geleden nog korte tijd als bouwland in gebruik geweest en was waarschijnlijk dus niet heel nat. Het lijkt erop dat zich sindsdien op de laagste delen geleidelijk een slecht doorlatende laag aan het ontwikkelen is. De toplaag is wel ijzerrijk, maar lang niet zo rijk als in de aangrenzende akker. Op 60-70 cm diepte is juist een extreem ijzerrijke laag aangetroffen.

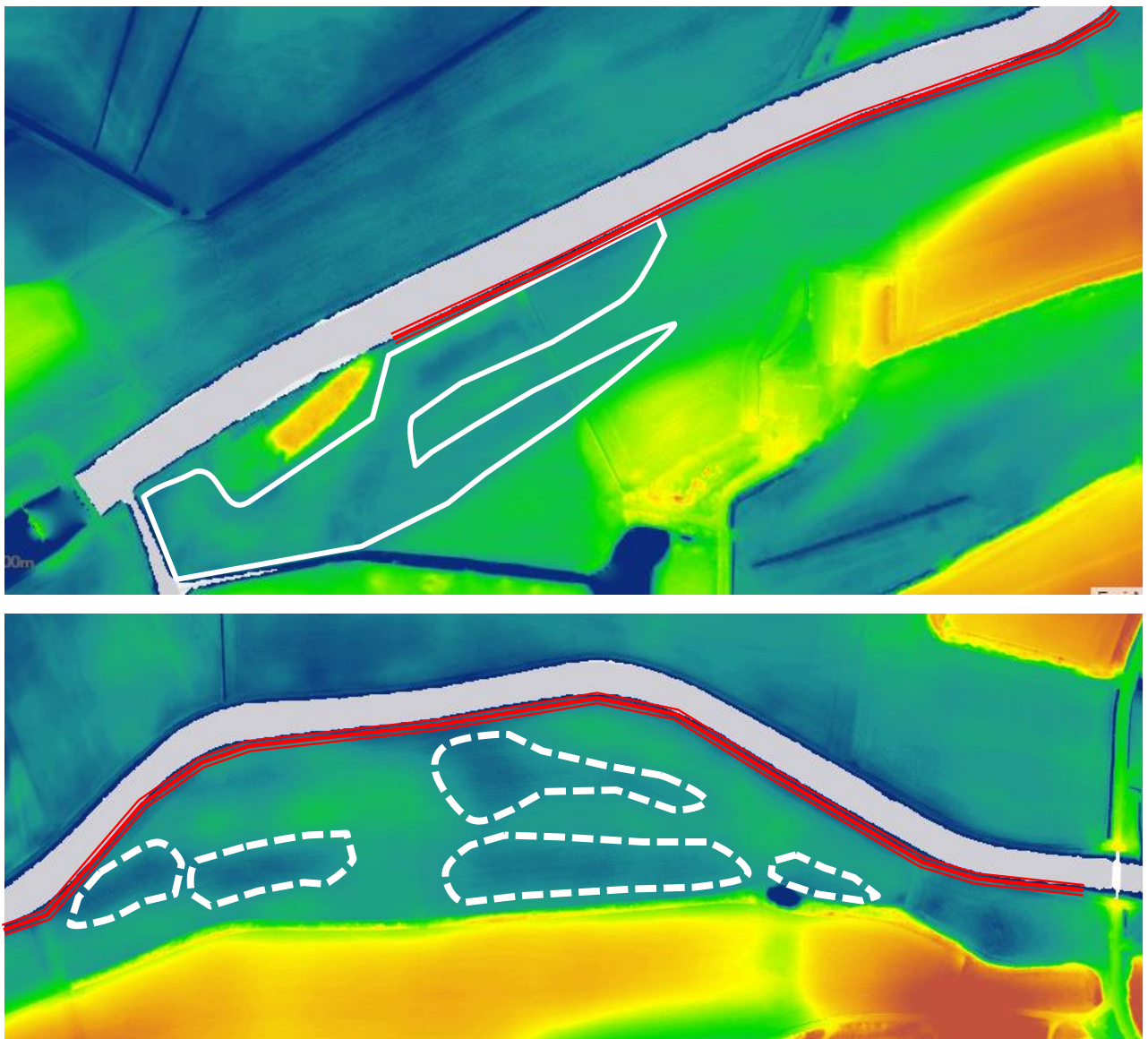
Er zijn nog twee andere aanwijzingen voor de aanwezigheid van slecht doorlatende, ijzerrijke lagen in de percelen langs de Berkel. De eerste is de aanwezigheid van sloten op de topografische kaarten in de periode 1900-1940. Kennelijk was er minstens periodiek sprake van natte omstandigheden in de laagste delen. De tweede is de vondst van harde ijzerbrokken op de akker en in boringen op 40-50 diepte in de akker. Het lijkt erop dat met het omploegen van de permanente graslanden ook de waterkerende ijzeroerbanken zijn doorbroken, iets wat lokaal al eerder door de slootaanleg zal zijn gebeurd.

Bij de natuurontwikkeling langs de Berkel kan deze hoge ijzerrijkdom en de neiging tot vorming van ijzeroerbanken niet genegeerd worden. Een tweede aspect wat uitdrukkelijk meegenomen moet worden, is het reliëf dat nog aanwezig is in de percelen. Tussen de laagste en hoogste delen zit ongeveer een meter hoogteverschil, wat grote invloed zal hebben op de ijzer- en fosfaatcyclus, overstromingsduur- en frequentie en daarmee de samenstelling van de vegetatie. Omdat er niet echt sprake is van een zeer fosfaatrijke toplaag die de ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie in de weg staat, kunnen de aanwezige reliëfverschillen maximaal worden benut.

De graslanden ten westen van perceel 15/S01 zijn voor zover bekend nooit bouwland geweest. Toch is de fosfaatbeschikbaarheid tot op 40 cm diepte hoog. Daaronder neemt wel het ijzergehalte toe, maar niet het fosforgehalte, wat resulteert in een lage fosfaatbeschikbaarheid. Door 40 cm af te graven lijkt hier de ontwikkeling van schrale graslanden, zoals Dotterbloemhooilanden of zelfs blauwgraslanden mogelijk. Het zuidelijk deel ligt wat hoger, hier kunnen zich na verwijdering van de bouwvoor soortenrijke vegetaties van matig voedselrijke, goed gedraineerde bodems ontwikkelen, zoals kamgrasweiden of glanshaverhooilanden.

Op de akkers liggen goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van een mozaïek van droge en nattere graslanden. Deze kan worden ontwikkeld door de lagere delen wat af te graven en de hogere delen niet, of zelfs wat op te hogen met de vrijkomende grond. Vermoedelijk heeft er op de akkerpercelen een flinke egalisatie plaatsgevonden in de loop der jaren, die hiermee weer deels ongedaan gemaakt wordt. De toplaag van de hogere delen zal goed gedraineerd blijven. Dit betekent dat ijzer alleen in oplossing kan gaan in zeer natte perioden, waardoor de binding van fosfaat aan ijzer hier langzaam zal verlopen. De hoge delen zullen dus nog lange tijd productief blijven, en vrij soortenarm. Uiteindelijk ontstaan glanshaverhooilanden of kamgrasweiden. Op de lage delen is stagnatie van water waarschijnlijk de motor voor het in oplossing gaan van ijzer, waardoor fosfaatvastlegging en de vorming van ijzeroerbanken kan worden gestimuleerd. Deze stagnatie wordt het meest bevorderd wanneer afvoerloze kommen worden aangelegd, die bij nat weer of hoogwater in de Berkel gevuld worden met water. Hoe groter deze zijn, hoe meer water zich in het midden kan verzamelen. Er kunnen zich dan vegetaties ontwikkelen van

het Zilverschoon-verbond of het Dotterbloem-verbond. Door te werken met geleidelijke hoogteverschillen, ontstaan ook overgangen naar de genoemde vegetaties van drogere bodem.



Figuur 12: Voorstel voor ontgraving op de percelen langs de Berkel. Wit = 40 cm afgraven, op overgangen naar hogere delen geleidelijk minder. Wit gestippeld = 30 cm afgraven met zeer geleidelijke overgang naar rand. Rood = geleidelijke, natuurvriendelijke oever.

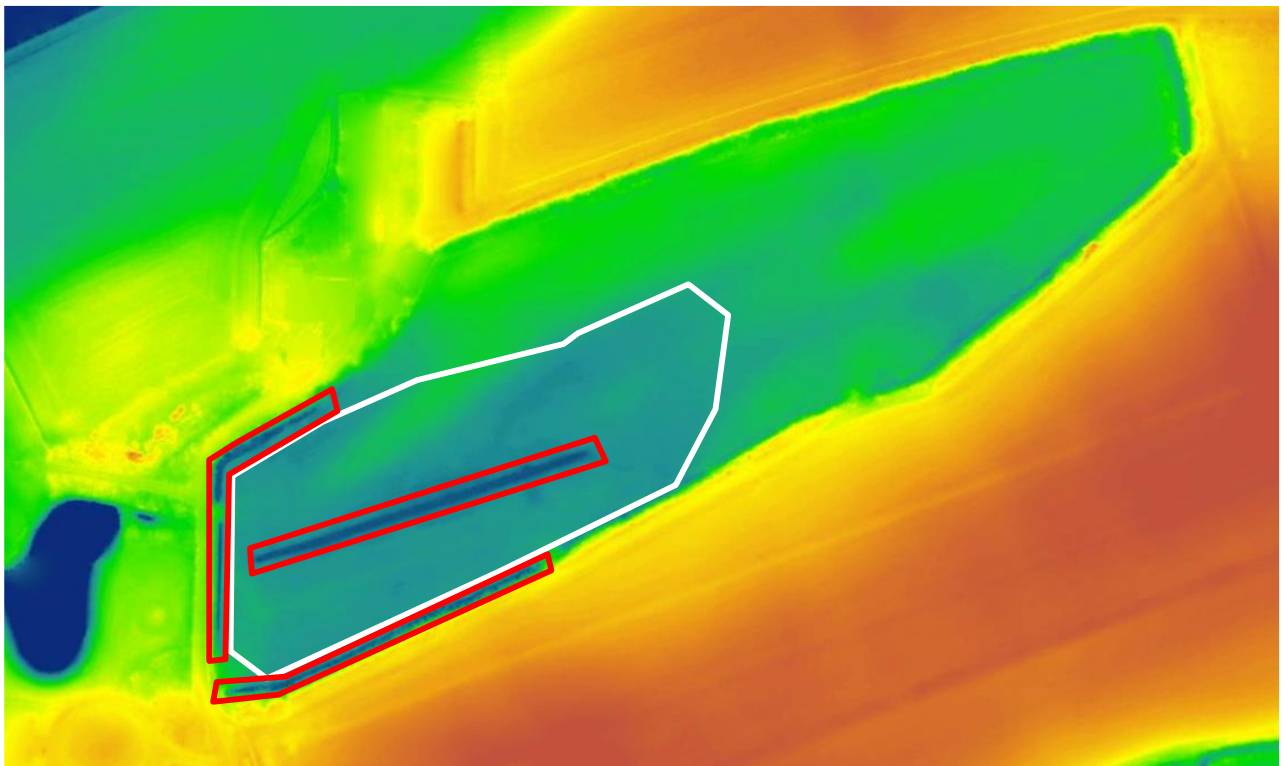
Aan de ene kant is het wenselijk om de toplaag af te graven, om zo de benodigde natte omstandigheden te scheppen. Aan de andere kant moet er ook niet te veel van de ijzerrijke kleilaag worden verwijderd. Door 20 cm te ontgraven wordt ongeveer dezelfde NAP-hoogte bereikt als de laagte in het perceeltje bij de Boevinkbrug. Het optimum ligt waarschijnlijk bij een iets grotere ontgraving, ook al omdat de laagte bij de Boevinkbrug stroomopwaarts en dus iets hoger ligt. De aanleg van amfibieënpoeltjes wordt afgeraden, omdat dan door de kleiige en ijzerrijke laag heen gegraven moet worden en de poelen als afvoerputjes van stagnerend water gaan fungeren. Wellicht is het zelfs beter om de huidige pool te verondiepen met vrijkomende, ijzerrijke klei. Wel kan in de lage delen de bodem met zwaar materieel worden bere-

den tijdens de herinrichting; hoe sterker de bodem wordt samengedrukt, hoe eerder er zuurstofloosheid, oplossen van ijzer, fosfaatbinding en verkitting door ijzer kan optreden.

Langs de oevers van de Berkel kan een geleidelijk aflopende, natuurvriendelijke oever worden aangelegd; het maaiveld is hier vaak al vrij laag.

In het graslandje bij de Boevinkbrug zijn de genoemde processen al volop gaande, wat al leidt tot langdurige stagnatie van water in de winter, fosfaatvastlegging en het soortenrijker worden van de vegetatie. Het is uitermate interessant om de volgen in hoeverre deze processen spontaan doorzetten. Het is beter om in dit perceel verder niet in te grijpen. Maaien, afvoeren en niet bemesten is hiervoor afdoende. Het diepste punt van deze laagte ligt op ongeveer 9.85 + NAP. De laagten in de akker liggen 15-20 cm hoger.

Perceel 15/0 ligt wat verder van de Berkel, maar ook hier doet zich het fenomeen voor van ijzerrijke, slecht waterdoorlatende lagen. In de kaarten van 1900 en 1930 is ook een poel getekend in het perceel. Deze werd aangetakt door de greppel, die nog altijd in het perceel aanwezig is, en die mogelijk water afvoerde in westelijke richting. Momenteel werkt de greppel drainerend voor het grasland omdat deze deels door de slecht doorlatende laag heen gegraven is. Ook hier is het een interessante optie om te proberen verschraling te bereiken door waterstagnatie te bevorderen, waardoor soortenrijke zilverschoongraslanden kunnen ontstaan. Hiervoor zou de huidige greppel het beste eerst kunnen worden opgeschoond, en daarna opgevuld met schone kleigrond die vrijkomt bij de gronden langs de Berkel (figuur 13). Ook hier geldt dat het beter is om de poel niet te herstellen, omdat deze mogelijk drainerend gaat werken. Een aanvullende optie zou zijn om op de lage delen 30 cm te ontgraven. Op deze diepte is de fosfaatbeschikbaarheid laag genoeg voor de ontwikkeling van Dotterbloemhooiland of soortenrijke zilverschoongraslanden. Er is tot 60 cm diepte een kleiige laag aanwezig die bij kan dragen aan stagnatie van water. Op de hogere delen van het perceel lijkt ontgronding niet echt zinvol.



Figuur 13: Voorstel voor herinrichting van perceel 15/0. Rood = greppels die geschoond en vervolgens met schone klei kunnen worden opgevuld. Wit = mogelijk aanvullende te ontgraven deel; van 0 cm aan de rand tot 30 cm in de laagste delen, met behoud van onderliggende kleilaag.

5.2 Gronden langs de Velhorster Laak (10B & 10C)

De twee percelen langs de Velhorster Laak zijn in een aantal aspecten sterk verschillend. Perceel 10C ligt vrij hoog, is lang als bouwland in gebruik geweest en kent een zeer hoge fosfaatbeschikbaarheid. Afgraven is hier geen voor de hand liggende maatregel: ook op 50 cm diepte is de fosfaatbeschikbaarheid nog hoog en is de invloed van grondwater nog vrij beperkt. Perceel 10B ligt lager en is altijd bos of grasland geweest. Beneden 40 cm diepte is de bodem ijzerrijk, is er periodiek invloed van schoon en kalkrijk grondwater en is de fosfaatbeschikbaarheid laag. Verwijdering van de bouwvoor zou hier tot goede mogelijkheden leiden voor de ontwikkeling van nat schraalgrasland. Wel moet dan de drainerende werking van de omringende watergangen zo veel mogelijk ongedaan gemaakt worden. Dit zou strijdig kunnen zijn met het streven om de Velhorster Laak weer in ere te herstellen en van bovenaf te voeden met oppervlaktewater.

De mogelijkheden om door maaien en afvoeren een soortenrijkere vegetatie te krijgen zijn op korte termijn gering. Alhoewel de totale fosforvoorraad in de bodem met 15-22 millimol per liter niet extreem hoog is, leidt dit op de calcium - en ijzerarme zandgrond toch tot een zeer hoge fosfaatbeschikbaarheid. Deze beschikbaarheid kan alleen worden teruggedrongen door fosfor via maaien of uitmijnen af te voeren, wat gezien de hoeveelheden pas na tientallen jaren een duidelijk effect zal hebben.

6 LITERATUUR

Kleijer, H., 2000. De bodemgesteldheid van de gebieden Berkeldal, Graafschap., Wildenborch, Warnsveld-Vierakker en Hummelo-Keppel. Alterra-rapport nr. 90.

Mullekom, M. van, Lucassen, E., Weijters, M., Tomassen, H. Bobbink, R. & Smolders, F., 2013. Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* 114 (4): 120-126

Bodemonderzoek enkele percelen landgoed Velhorst

Bijlage 1: Analysegegevens van de bodemmonsters die op het terrein verzameld zijn. Kg DW/l = kilogram drooggewicht per liter verse bodem. Olsen-P = plant beschikbaar fosfaat.

		Diepte (cm -mv)	Vocht (%)	kg DW/l	OS (%)	Olsen-P mmol/l	Destructie (waarden in millimol per liter verse bodem)									
							Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
1	15/S01 gras westpunt west	0-20	15	0,86	6	2,56	119	34	232	21	36	5,3	28	10,3	15	0,6
1	15/S01 gras westpunt west	20-30	13	0,95	4	2,06	121	23	229	17	32	7,0	19	5,3	14	0,5
1	15/S01 gras westpunt west	30-40	15	1,12	3	1,61	159	28	282	17	39	7,1	18	4,9	18	0,6
1	15/S01 gras westpunt west	60-70	18	1,31	2	0,69	204	43	398	13	52	8,5	18	4,5	27	0,4
2	15/S01 gras westpunt oost	0-20	18	0,82	7	1,72	138	39	313	15	34	7,5	25	11,4	12	0,7
2	15/S01 gras westpunt oost	20-30	16	1,01	5	1,24	158	40	331	10	35	8,9	20	6,9	15	0,7
2	15/S01 gras westpunt oost	30-40	17	1,15	4	1,04	177	47	389	9	40	10,5	20	6,2	18	0,6
2	15/S01 gras westpunt oost	60-70	18	1,51	2	0,53	249	60	1125	8	44	13,8	34	3,9	28	0,5
3	15/S01 gras westpunt zuid	0-20	12	0,98	6	2,53	102	28	274	18	23	4,7	26	9,3	14	0,7
3	15/S01 gras westpunt zuid	20-30	12	1,12	3	2,94	109	21	254	12	22	4,3	21	4,6	14	0,5
3	15/S01 gras westpunt zuid	30-40	11	1,20	3	2,09	118	21	288	12	23	3,9	18	4,3	17	0,4
3	15/S01 gras westpunt zuid	60-70	11	1,37	1	0,68	105	17	258	9	26	2,5	10	1,6	19	0,3
4	15/S01 west	0-20	14	1,10	6	2,06	251	69	962	20	34	20,8	47	8,3	21	0,9
4	15/S01 west	20-30	14	1,13	6	2,10	258	71	1460	17	33	30,3	62	8,1	16	1,1
4	15/S01 west	30-40	14	1,21	6	2,53	278	76	1327	12	36	33,1	53	8,0	22	1,0
4	15/S01 west	60-70	20	1,12	6	0,65	197	72	2816	7	29	66,3	71	4,0	14	0,7
5	15/S01 laag	0-20	15	1,27	4	2,31	228	65	982	18	33	13,3	40	6,6	19	0,9
5	15/S01 laag	20-30	15	1,42	4	2,44	239	76	1120	14	34	24,0	40	6,8	21	0,9
5	15/S01 laag	30-40	16	1,32	3	1,19	232	71	773	10	34	10,1	26	5,0	19	0,6
5	15/S01 laag	60-70	15	1,58	1	0,45	160	51	186	13	54	2,1	9	1,0	20	0,3
6	15/S01 hoog	0-20	16	1,21	5	2,63	278	77	644	16	39	13,4	41	7,2	19	0,9
6	15/S01 hoog	20-30	15	1,09	4	2,27	239	71	556	13	33	11,0	37	6,5	19	0,8
6	15/S01 hoog	30-40	16	1,44	4	2,85	330	93	694	14	43	12,7	45	8,7	23	1,0
6	15/S01 hoog	60-70	19	1,47	2	0,76	228	50	244	6	30	2,3	10	2,9	22	0,5
7	15/S01 oost	0-20	19	1,24	7	2,96	408	92	1453	16	45	63,9	89	10,3	28	1,1
7	15/S01 oost	20-30	19	1,14	6	2,40	392	85	1299	12	42	29,4	79	9,8	37	1,2
7	15/S01 oost	30-40	20	1,14	6	2,21	465	77	948	10	46	28,9	60	8,3	26	0,9
7	15/S01 oost	60-70	28	0,92	6	2,99	373	75	1301	5	32	31,4	113	5,1	34	0,7
8	15/S01 oostpunt	0-20	22	1,10	6	1,44	286	51	433	6	32	4,1	29	8,8	17	0,6
8	15/S01 oostpunt	20-30	23	1,08	6	1,59	290	50	376	6	33	4,0	26	8,5	20	0,6
8	15/S01 oostpunt	30-40	22	1,24	5	1,76	392	69	479	10	44	5,3	30	9,0	32	0,7
8	15/S01 oostpunt	60-70	47	0,74	12	2,04	399	172	1773	8	49	28,4	103	9,2	35	0,9
9	15/0 west	0-20	20	0,97	8	1,56	126	32	192	12	25	2,0	18	8,8	16	0,4
9	15/0 west	20-30	15	1,26	4	1,36	161	36	277	11	25	2,6	18	6,5	17	0,4
9	15/0 west	30-40	14	1,30	3	0,92	162	31	421	9	22	3,1	17	4,5	18	0,3
10	15/0 mid	0-20	19	0,90	10	2,08	157	50	422	30	36	4,6	32	13,9	15	0,7
10	15/0 mid	20-30	17	1,08	6	1,25	224	60	593	18	42	7,3	31	9,8	21	0,6
10	15/0 mid	30-40	18	1,36	5	0,77	233	74	2793	13	43	10,9	50	8,3	30	0,6
11	15/0 oost	0-20	14	0,95	6	1,91	155	37	406	26	27	6,0	28	10,9	16	0,7
11	15/0 oost	20-30	12	1,11	5	2,17	167	35	472	22	26	6,0	26	7,3	16	0,6
11	15/0 oost	30-40	12	1,10	4	1,51	195	36	475	18	27	4,6	21	6,2	21	0,7
12	10C west	0-20	10	1,06	6	5,24	78	18	51	11	13	2,4	23	8,5	16	0,3
12	10C west	20-30	9	1,13	4	5,69	113	18	65	11	17	3,8	27	6,8	16	0,4
12	10C west	30-40	7	1,15	3	5,48	101	12	45	8	14	1,7	17	3,9	14	0,2
12	10C west	40-50	7	1,35	2	3,21	155	11	42	7	17	1,1	10	2,7	20	0,3
13	10C oost	0-20	11	0,89	8	4,15	76	24	48	11	13	2,1	24	9,9	12	0,4
13	10C oost	20-30	10	1,14	5	5,64	110	25	70	10	15	2,5	31	7,9	18	0,4
13	10C oost	30-40	11	1,11	4	4,87	88	19	55	7	12	1,5	22	5,2	17	0,3
13	10C oost	40-50	11	1,22	3	3,54	129	25	82	7	14	2,5	19	5,8	20	0,4
14	10B noord	0-20	15	1,21	4	3,35	132	26	91	21	39	5,2	22	7,2	18	0,4
14	10B noord	20-30	13	1,10	3	2,89	125	19	148	14	32	4,4	20	5,3	17	0,5
14	10B noord	30-40	12	1,20	2	2,25	144	23	93	15	40	4,3	17	4,8	19	0,5
14	10B noord	40-50	12	1,40	1	0,55	197	31	151	16	61	2,3	11	1,2	25	0,4
15	10B zuid	0-20	11	1,12	3	2,90	97	14	62	12	28	3,7	15	4,9	16	0,4
15	10B zuid	20-30	11	1,10	2	2,72	100	13	62	9	27	3,3	13	3,9	15	0,3
15	10B zuid	30-40	10	1,12	2	2,14	118	15	70	11	35	2,9	12	3,3	17	0,3
15	10B zuid	40-50	12	1,33	1	0,76	143	15	77	12	47	1,6	7	2,0	21	0,4

Bijlage 2: Vegetatie-opnamen van enkele plekken waar bodemmonsters genomen zijn

X-coördinaat	220396	220373	220253	220172	220340	219963	219916	220642	219693	219622	
Y-coördinaat	463205	463252	463236	463214	463748	463687	463643	463920	463746	463667	
Bedekking totaal (%)	90	90	85	95	95	95	95	95	95	90	
Locatienummer (figuur 2)	15	14	13	12	11	10	9	8	2	1	
Agrostis stolonifera	2a	2a	2a	+	.	.	.	1	.	.	Fioringras
Cardamine pratensis	+	+	.	r	.	1	.	r	.	.	Pinksterbloem
Holcus lanatus	2a	+	2m	1	+	1	+	.	r	.	Gestreepte witbol
Lolium perenne	4	4	4	4	5	4	4	2a	4	5	Engels raaigras
Poa trivialis	2a	2a	2a	2a	2m	2m	1	+	1	.	Ruw beemdgras
Ranunculus repens	+	+	.	r	.	.	+	2b	2a	2m	Kruipende boterbloem
Rumex obtusifolius	+	1	+	1	.	.	r	.	+	+	Ridderzuring
Veronica chamaedrys	1	1	.	r	.	.	.	.	.	.	Gewone ereprijs
Senecio jacobaea	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Jakobskruiskruid s.l.
Bromus hordeaceus	r	+	.	.	+	.	.	.	.	.	Zachte dravik s.l.
Ranunculus ficaria	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Speenkruid
Taraxacum species	2b	2a	2b	2a	2m	2m	1	.	2a	2a	Paardenbloem (G)
Alopecurus pratensis	.	+	r	+	.	+	r	+	.	.	Grote vossenstaart
Cardamine hirsuta	.	r	+	.	.	.	.	r	+	+	Kleine veldkers
Trifolium repens	.	1	.	.	2a	2a	2b	+	2a	1	Witte klaver
Cerastium fontanum	.	r	r	.	.	r	.	.	+	.	Gewone hoornbloem
Dactylis glomerata	.	.	r	.	+	.	.	.	.	.	Kropaar
Achillea millefolium	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	Gewoon duizendblad
Capsella bursa-pastoris	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	Gewoon herderstasje
Rumex crispus	.	.	.	r	.	.	.	+	.	.	Krulzuring
Poa annua	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	Straatgras
Alopecurus geniculatus	.	.	.	.	.	r	.	2a	.	.	Geknikte vossenstaart
Bellis perennis	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	Madeliefje
Carex hirta	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	Ruige zegge
Plantago major	.	.	.	.	.	+	+	.	r	.	Grote weegbree
Brachythecium rutabulum	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	Gewoon dikkopmos
Cirsium arvense	.	.	.	.	.	.	r	.	+	.	Akkerdistel
Veronica serpyllifolia	.	.	.	.	.	.	+	r	.	.	Tijmeprijs
Carex ovalis	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	Hazenzegge
Equisetum palustre	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	Lidrus
Glyceria fluitans	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	Mannagras
Juncus articulatus	.	.	.	.	.	.	.	2b	.	.	Zomprus
Juncus effusus	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	Pitrus
Lotus pedunculatus	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	Moerasrolklaver
Lycopus europaeus	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	Wolfspoot
Phleum pratense	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1	Timoteegras
Calliergonella cuspidata	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	Gewoon puntmos
Glechoma hederacea	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	Hondsdrif
Rumex acetosa	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	Veldzuring
Stellaria media	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	Vogelmuur
Eurhynchium praelongum	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	Fijn laddermos

Bijlage 3: Profielbeschrijvingen (profielnummers, zie figuur 2)

1 Grasland westpunt, west

0-30 cm Zavelige bouwvoor met roestsporen
30-40 cm Overgang
40-55 cm Zavel met roestvlekken
55-70 cm Zand met roestvlekken
70-80 cm Gereduceerd, grijs zand
80-90 cm Grijs, lichte klei
90-100 cm Gereduceerd, grijs zand

2 Grasland westpunt, oost

0-30 cm Zavelige bouwvoor met roestsporen
30-50 cm Zavel met roestvlekken
50-70 cm Lichtgrijze klei met roestvlekken
70-90 cm Gereduceerd, grijs zand met roestsporen

4 Perceel 15/S01, west

0-40 cm Zavelige bouwvoor
40-50 cm Gele zavel
50-70 cm Zand met ijzervlekken
70-90 cm Gereduceerd, grijs zand met roestsporen

5 Perceel 15/S01

0-40 cm Zavelige bouwvoor
40-50 cm Grijs klei
50-70 cm Zand met roestvlekken
70-85 cm Grijs zand

6 Perceel 15/S01

0-40 cm Zavelig-zandige bouwvoor
40-45 cm Zavelig zand
45-85 cm Zand met roestvlekken
85-95 cm Gereduceerd, grijs zand

6a Perceel 15/S01

0-35 cm Zavelige bouwvoor
35-40 cm IJzerrijke zavel
40-60 cm Zand met roestvlekken
60-90 cm Grijs, gereduceerd zand
90-100 cm Moerig zand

6b Perceel 15/S01

0-40 cm Zavelige bouwvoor
40-50 cm Zavel met harde ijzerbrokken
50-80 cm Grijs, lichte klei met ijzergangen
80-90 cm Grijs, gereduceerd zand

7 Perceel 15/S01, oost

0-40 cm Zavelige bouwvoor
40-55 cm IJzerrijke zavel
55-70 cm Overgang
70-90 cm Gereduceerd, grijs zand

8 Grasland Berkel, oostpunt

0-50 cm IJzerrijke, rode klei

50-90 cm Gereduceerd, grijs zand

9 Perceel 15/0 west

0-40 cm Zavelige bouwvoor met roestsporen

40-80 cm Zavel met roestvlekken

80-100 cm Gereduceerd grijs zand met roestsporen

10 Perceel15/0 midden

0-25 cm Bouwvoor met roest

25-40 cm Lichte klei met roestvlekken

40-60 cm Zavelig zand met roestvlekken

60-90 cm Gereduceerd, grijs zand

14 Perceel 10B, noord

0-30 cm Bouwvoor, weinig humeus grijs zand

30-45 cm Geroerde grond, mix geel en grijs zand

45-80 cm Grijsgeel zand met roestvlekken + brokken bruinig zand

80-100 cm Gereduceerd grijs zand, met roestsporen

15 Perceel 10B, zuid

0-35 cm Bouwvoor, donkergrijs zand

35-50 cm Overgang naar grijsbruin zand

50-90 cm Grijsbruin zand met roestvlekken

90-100 cm Gereduceerd, lichtgrijs zand