



Bodem- en fosfaatonderzoek Dijkhuizen Epe

M. van Doorn

R. Postma

Referaat

van Doorn, M & Postma, R, 2021, Bodem -en fosfaatonderzoek Dijkhuizen Epe, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1841.N.21, pp 18

Rapport in het kort

De Provincie Gelderland heeft het voornemen om op een vijftal percelen in het gebied Dijkhuizen bij Epe natuur te ontwikkelen op voormalige landbouwgrond. Het betreft de ontwikkeling van vochtig hooiland op drie percelen in het beekdal en bos of kruiden -en faunarijk grasland op twee percelen ten zuiden van het beekdal. Dit onderzoek heeft geleid tot inzicht in de bodemsamenstelling en met name de fosfaattoestand van de bodem. Aan de hand van deze inzichten wordt advies gegeven over de inrichtingsmogelijkheden ten behoeve van het bereiken van de beoogde doelstellingen.

© 2021 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Provincie Gelderland, t.a.v. Dhr Buddingh

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	4
1.1 Achtergrond	4
1.2 Doelstelling	4
2 Opzet en uitvoering	5
3 Resultaten	9
3.1 Algemene bodembeschrijving en bodemkenmerken	9
3.2 Zuurgraad en zuurbufferend vermogen	11
3.3 Fosfaattoestand	13
4 Verlagen van de fosfaattoestand	16
5 Conclusies	18
Literatuur	19
Bijlage I: Regionale ligging van de onderzoekslocatie	20
Bijlage II: Bodemkaart (1:50.000) en AHN hoogtekarten	21
Bijlage III: Profielbeschrijvingen	25
Bijlage IV: Resultaten bodemanalyses	28

Samenvatting en conclusies

De Provincie Gelderland heeft het voornemen om op een vijftal percelen in het gebied Dijkhuizen bij Epe natuur te ontwikkelen op voormalige landbouwgrond. Het betreft de ontwikkeling van vochtig hooiland op drie percelen in het beekdal en de ontwikkeling van bos of kruiden- en faunarijk grasland op twee zuidelijker gelegen percelen. De doelstelling van het huidige onderzoek is het bepalen van de natuurpotentie van de te onderzoeken percelen op basis van de voedselrijkdom van de bodem en de mogelijkheden om dit via afgraven en/of verschralen versneld te realiseren. Voor de percelen in het beekdal geldt dat het afgraven tot de grofzandige ondergrond geen optie is.

Op negen monsternamelocaties (Figuur 1) zijn op twee tot drie dieptes grondmonsters genomen. In het beekdal is de bovenlaag (humushoudende A-horizont), de lemige laag in de 10cm daaronder en de laag van 10cm (zandig of lemig) daar onder bemonsterd. In de twee zuidelijker gelegen percelen is de bouwvoor en de laag van 10cm daaronder bemonsterd. Perceelsgrenzen zijn als bemonsteringseenheden aangehouden vanwege het historisch agrarisch management en het corresponderende effect op de fosfaatopbouw in de bodem. De monsters zijn onder andere geanalyseerd op meerdere fosfaatfracties (P-CaCl₂, P-AL, P-ox), parameters die belangrijk zijn voor de fosfaatbinding (Fe-ox, Al-ox), het organische stofgehalte, de pH, textuur en het klei-humuscomplex (CEC) met basenverzadiging. Daarnaast is ter plaatse van de zes monsternamelocaties in het beekdal de bodem gekarteerd.



Figuur 1 Monsternamelocaties bodem. Het getal in de label geeft het locatienummer aan.

Het bodemonderzoek heeft tot de volgende inzichten geleid:

- De bodems in het gebied waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd worden geclassificeerd als broek-, leek-, woud- of tuineerdgronden. De toplaag van de bodems waar de ontwikkeling van bos of kruiden- en faunarijk grasland wordt beoogd bestaan uit zeer humeus tot humusrijk mineraal materiaal.
- In de drie noordelijk gelegen percelen is de fosfaattoestand optimaal voor de ontwikkeling van vochtig hooiland, met uitzondering van het meest noordwestelijke deel waar de fosfaattoestand suboptimaal is. Middels uitmijnen (geschatte tijdsduur van 1-6 jaar) of intensief verschalingsbeheer (geschatte tijdsduur van 2-12 jaar) kan de fosfaattoestand hier ook naar optimale waarden worden gebracht.
- In het noordelijk gelegen perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden- en faunarijk grasland wordt beoogd is de fosfaattoestand geschikt voor de ontwikkeling van kruiden- en faunarijk grasland. Hiervoor is geen aanvullende actie nodig.
- In het meest zuidelijk gelegen perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden- en faunarijk grasland wordt beoogd is de fosfaattoestand te hoog voor de potentiële ontwikkeling van kruiden- en faunarijk grasland en hoog voor de ontwikkeling van bos. De geschatte tijdsduur van uitmijnen is hier hoog (>10 jaar). Mogelijkheden zijn het ontwikkelen van (zeer) voedselrijk bos, of het afgraven van meer dan 20cm van de bodem om kruiden- en faunarijk grasland te ontwikkelen. Wanneer voor het laatste wordt gekozen is aanvullend onderzoek nodig om de fosfaattoestand in de diepere bodemlagen (>20cm) te bepalen, waarna de exacte ontgravingdiepte kan worden bepaald.
- De zuurgraad van de bodems is in alle gevallen laag (<4.9 pH-CaCl₂). Geadviseerd wordt om de pH te verhogen middels bekalking.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Provincie Gelderland beschikt over een vijftal percelen in het gebied Dijkhuizen bij Epe (regionale ligging opgenomen in Bijlage I). Drie van de vijf percelen liggen in een beekdal aan de Dijkhuizerzanddijk, waar de ontwikkeling van vochtig hooiland (N10.02) kansrijk lijkt. De andere twee percelen zijn iets ten zuiden van de andere drie percelen gelegen. Voor de drie percelen in het beekdal is het de vraag of afgraven nodig is om op korte termijn de productiviteit voldoende te laten zakken. Op basis van een oriënterend onderzoek van de provincie Gelderland (bestaande uit twee boringen) is vastgesteld dat er in het beekdal sprake is van een lemige bovengrond met daaronder grofzandig materiaal. Afgraven tot de grofzandige ondergrond is geen optie. De Provincie wil daarom een deel van de leemlaag behouden als de bovengrond te voedselrijk is voor de ontwikkeling van vochtig hooiland. Provincie Gelderland heeft Nutriënten Management Instituut NMI gevraagd om op basis van bodemonderzoek te onderzoeken of met het gedeeltelijk afgraven van de leemlaag de gewenste voedingstoestand bereikt kan worden voor vochtig hooiland. Voor de andere twee percelen wordt gedacht aan de ontwikkeling van bos (N15.02) of kruiden- en faunarijk grasland (N12.02). Hiervoor wil de Provincie graag inzicht verkrijgen in de benodigde verschrallingsduur voor de ontwikkeling van N12.02, uitgaande van de bestaande situatie. Ook is inzicht in het effect van afgraven van de toplaag op de ontwikkelmogelijkheden gewenst. De Provincie Gelderland heeft NMI gevraagd om bodemonderzoek uit te voeren om de vragen nader te onderzoeken.

1.2 Doelstelling

Doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de natuurpotentie van de te onderzoeken percelen op basis van de voedselrijkdom van de bodem en de mogelijkheden om dit via afgraven en/of verschrallen versneld te realiseren. Het onderzoek richt zich op de potentie voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (N10.02; voor de drie percelen in het beekdal) of bos (N15.02) of kruiden- en faunarijk grasland (N12.02; voor de andere twee percelen). Voor de percelen in het beekdal dient nagegaan te worden of afgraven nodig is en zo ja, of met het gedeeltelijk afgraven van de leemlaag de gewenste voedingstoestand bereikt kan worden. Voor de andere twee percelen is de vraag wat de benodigde verschrallingsduur is voor de ontwikkeling van N12.02 uitgaande van de bestaande situatie. Ook is inzicht in het effect van afgraven van de toplaag op de ontwikkelmogelijkheden gewenst.

2 Opzet en uitvoering

Monsternamelocaties

Op 29-04-2021 heeft de monstername van de bodem en de bodemkartering plaatsgevonden. De monsternamepunten zijn geselecteerd op basis van het inrichtingsplan en de situering van de agrarische percelen. Percelen zijn als bemonsteringseenheden aangehouden in verband met het historisch agrarisch beheer. In Figuur 2.1 zijn de (negen) monsternamelocaties weergegeven (links) en de natuurdoelstelling (rechts).



Figuur 2.1: Kaart met het onderzoeksgebied, waarbij de te bemonsteren percelen zwart omlijnd zijn en voorzien van een monsternamepunt (links) en een kaart met de natuurdoelstellingen (rechts).

Bodemkartering en monstername bodem

Voor de veldwerkzaamheden is onderscheid gemaakt in twee delen van het onderzoeksgebied; de drie percelen in het beekdal waar vochtig hooiland wordt beoogd (monsternamepunten 1 t/m 6 in Figuur 2.1) en de twee zuidelijker gelegen percelen waar bos of kruiden- en faunairijk grasland wordt beoogd (monsternamepunten 7 t/m 9):

- In de drie percelen in het beekdal is de bodem bemonsterd op drie dieptes: de bovenlaag (humushoudende A-horizont), de lemige laag in de 10cm daaronder en de laag van 10cm

(zandig of lemig) daar onder. Gezien de grote variatie van de dikte van de leemlaag op een korte afstand zijn er enkelvoudige monsters genomen. Daarnaast is voor de monsternamelocaties een boorbeschrijving/bodemclassificatie uitgevoerd, waarbij een kwalitatieve beoordeling van het leem- en/of lumtumgehalte is gegeven.

- In de twee zuidelijker gelegen percelen is op twee dieptes bemonsterd: de bouwvoor en de laag van 10cm daaronder. Per bemonstersingseenheid is van elke bemonsterde diepte een representatief mengmonster genomen.

De uitgevoerde werkzaamheden zijn samengevat in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Uitgevoerde werkzaamheden

Natuurdoelstelling	Monsternamelocatie(s) ¹	Diepte monstername (cm -mv)	Gedetailleerde bodemkartering
Vochtig hooiland	1 t/m 6	0-30, 30-40 en 40-50 (puntbemonstering)	Ja
Bos of kruiden -en faunairijk grasland	7	0-30 en 30-40 (mengmonster)	Nee
Bos of kruiden -en faunairijk grasland	8 en 9	0-10 en 10-20 (mengmonster)	Nee

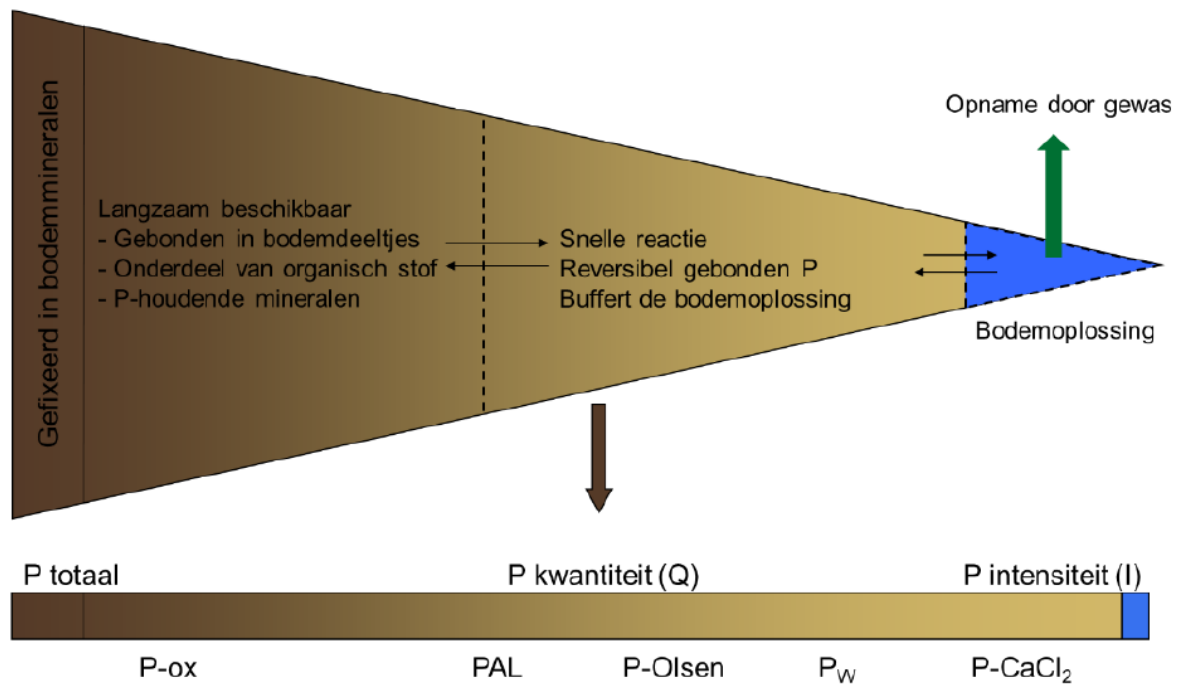
¹De nummers van de monsternamelocaties verwijzen naar de boorpunten in Figuur 2.1

Analyses

In alle bodemmonsters zijn ten behoeve van een algemene beschrijving van de bodemkwaliteit het organische stofgehalte, textuur (zand-, silt-, kleifraction), de zuurgraad (pH), de omvang van het klei-humuscomplex (CEC) en de bezetting hiervan bepaald. Daarnaast is de directe beschikbaarheid en de potentieel beschikbare reserves van de verschillende macro -en mesonutriënten bepaald (N, K, Ca, Mg, Na en S). Om de fosfaattoestand van de bodem te karakteriseren zijn de volgende parameters bepaald:

- de directe fosfaatbeschikbaarheid (P-CaCl₂, ofwel P geëxtraheerd met 0.01 M CaCl₂). Hiermee wordt een P-fractie verkregen die goed vergelijkbaar is met de P-concentratie in het bodemvocht;
- de P voorraad die reversibel is gebonden aan de bodem en relatief gemakkelijk beschikbaar komt (P-AL, ofwel P geëxtraheerd met ammoniumlactaat azijnzuur)
- de totaal gebonden P voorraad (P-ox, ofwel P geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuur);
- een maat voor het oppervlak in de bodem wat gemakkelijk P bindt (Fe-ox + Al-ox; ofwel Fe en Al geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuur);
- een maat voor hoe sterk de totaal beschikbare fosfaat gebonden zit in de bodem (de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) welke wordt berekend door de verhouding tussen P-ox en de totale bindingscapaciteit die geschat wordt als de helft van de hoeveelheid (Fe+Al)-oxiden.

De relatie tussen de uiteenlopende fosfaatparameters en fosfaatbeschikbaarheid in de bodem is in Figuur 2.2 schematisch toegelicht.



Figuur 2.2: Schematische weergave van fosfaat in de bodem

Figuur 2.2 geeft schematisch weer dat fosfaat in meerdere vormen in de bodem aanwezig is. Een klein deel is direct beschikbaar voor het gewas en kan worden opgenomen (rechterpunt van de driehoek, wordt ook P intensiteit genoemd). Deze vorm van fosfaat kan goed worden bepaald met een CaCl_2 -extractie. Dit direct beschikbare deel van fosfaat wordt gebufferd door het reversibel gebonden fosfaat (middenstuk van de driehoek). Dit fosfaat wordt beschikbaar wanneer fosfaat aan de bodem wordt onttrokken en wordt ook P kwantiteit genoemd. Een goede maat voor het reversibel gebonden, beschikbaar fosfaat is P gemeten met een ammoniumlactaat-azijnzuur extractie (P-AL). Deze vorm van fosfaat wordt gebufferd door een nog sterkere vastgelegde vorm van fosfaat (linkerkant van de driehoek). Dit fosfaat komt langzaam vrij omdat het sterk is gebonden in en aan ijzer- en aluminium (hydr-)oxiden en is vastgelegd in organische stof en P-houdende mineralen. Deze vorm van fosfaat kan worden gemeten middels een oxalaat-extractie (P-ox). Middels deze oxalaatextractie wordt ook inzicht verkregen in de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat in de vorm van ijzer- en aluminium (hydr-)oxiden ((Fe+Al)-ox). De verhouding tussen de totaal beschikbare reserves en de bindingscapaciteit (de fosfaatverzadigingsgraad, FVG) is een maat voor het beschikbaar fosfaat. P-AL en FVG zijn beide representatief voor het beschikbaar P en zijn lokaal sterk aan elkaar gecorreleerd. In de praktijk bestaan er veel meer extractiemethoden die elk verschillen in de mate waarin gebonden fosfaat wordt geëxtraheerd (bijvoorbeeld P_w , P-Olsen die tussen P- CaCl_2 en P-AL in zitten).

Fosfaat in relatie tot natuurontwikkeling

Voor de ontwikkeling van natuur -op voormalige landbouwgronden is de P beschikbaarheid relevanter dan de totale P reserves in de bodem. In dit onderzoek zijn zowel P-AL als de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) indicatoren voor de P beschikbaarheid waarmee wordt aangesloten bij de referentiewaardes zowel die intern door het NMI zijn bepaald en die ook aansluiten bij de referentiewaarden zoals ontwikkeld door Wageningen Universiteit & Research en anderen (o.a. Timmermans & van Eekeren, 2016; van Delft, 2013; van Delft et al., 2014; Postma et al., 2015). Hoewel informatief, is de FVG geen directe meting van de P-beschikbaarheid omdat deze wordt berekend uit P-ox, Fe-ox en Al-ox. P-AL daarentegen geeft wel een directe maat voor beschikbaar P. P-AL en FVG zijn binnen een gebied vaak aan elkaar gerelateerd. De streefwaarden zijn opgenomen in Tabel 2-2. Voor de beoordelingen worden de afzonderlijke beoordelingen op basis van P-AL en FVG gemiddeld

en naar beneden afgerond. Als bijvoorbeeld op basis van FVG de uitgangssituatie optimaal is voor voedselarme vegetaties (FVG <12 bij zandgrond) en op basis van P-AL optimaal voor voedselarme vegetaties (P-AL tussen de 10-18) dan wordt de beoordeling "Optimaal voedselarm" (klasse A).

Tabel 2-2 Streefwaarden P-AL en FVG voor potentiële natuurontwikkeling

Klasse	Classificering fosfaattoestand van de bodem voor potentiële natuurontwikkeling	P-AL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	FVG zand (%)	FVG veen (%)
A	Optimaal voedselarm	<10	<12	<10
B	Optimaal matig voedselrijk	10-18	12-18	10- 15
C	Suboptimaal matig voedselrijk	18-26	18- 26	15-23
D	Optimaal voedselrijk	26-40	26-40	23-36
E	Niet geschikt	> 40	> 40	> 36

Voor de geplande natuurontwikkeling van vochtig hooiland zijn de volgende streefwaarden aangehouden:

- Vochtig hooiland: klasse B (P-AL van 10-18 mg P₂O₅ 100g⁻¹ en een FosfaatVerzadigingGraad (FVG) van 12-18% op zand
- Kruiden- en faunarijk grasland: klasse C (P-AL van 18-26 mg P₂O₅ 100g⁻¹ en een FVG van 18-26% op zand
- Bos: klasse D (P-AL van 26-40 mg P₂O₅ 100g⁻¹ en een FVG van 26-40% op zand).

Wanneer de fosfaattoestand hierboven wordt gemeten dienen er maatregelen genomen te worden om de fosfaattoestand te verlagen (afgraven, plaggen, verschralen of uitmijnen). De maatregelen zijn o.a. afhankelijk van de fosfaattoestand over de diepte en de tijdsduur waarop de gewenste natuurontwikkeling moet zijn gerealiseerd. Verder is in het beekdal het afgraven tot de grofzandige ondergrond geen optie.

3 Resultaten

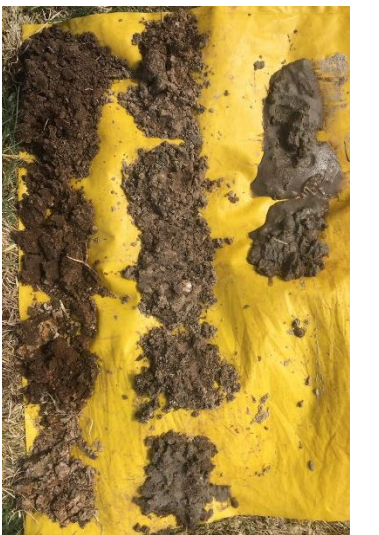
3.1 Algemene bodembeschrijving en bodemkenmerken

Uit de resultaten van de bodemkartering blijkt dat de bodems waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd (monsternamelocaties 1 t/m 6 in Figuur 2.1) classificeren als een hydro-eerdgrond (broek, leek, -of woud eerdgrond) of als een dikke eerdgrond (tuineerdgrond). De resultaten zijn ruimtelijk weergegeven in Figuur 3.1 en foto's van de boorprofielen zijn opgenomen in Tabel 3-1. De resultaten zijn in lijn met de 1:50.000 bodemkaart (Figuur S2-1 in Bijlage II), waar de bodems geclassificeerd zijn als een beekeerdgrond of moerige eerdgrond.

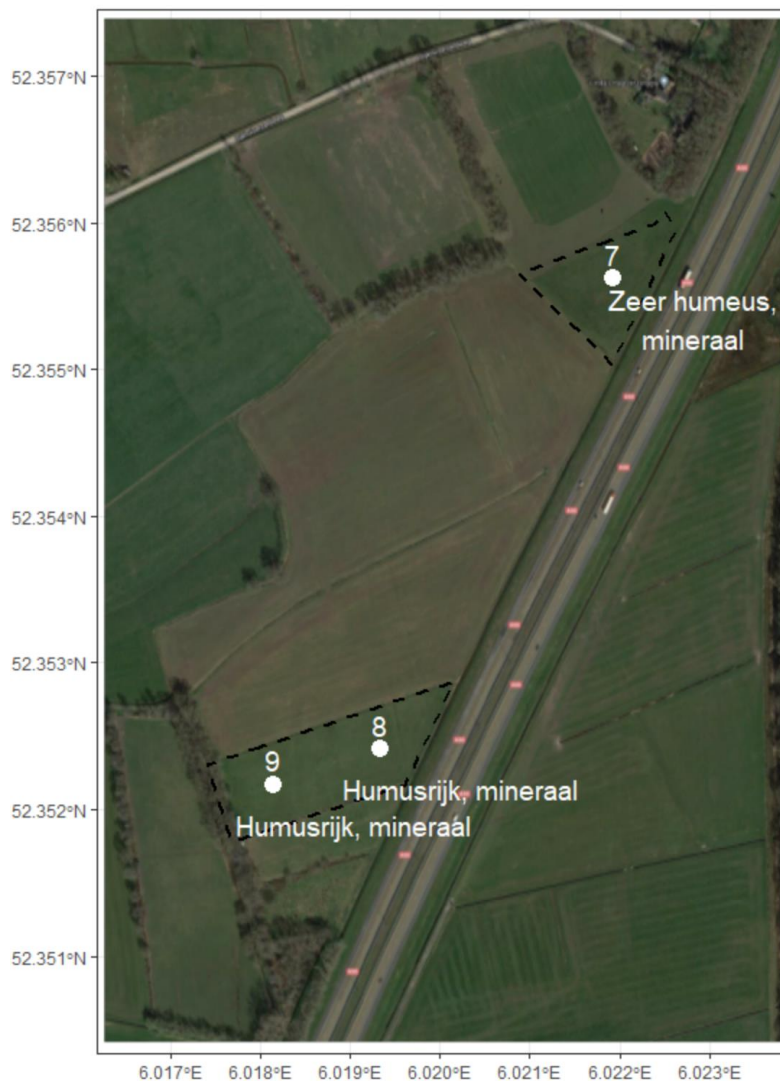


Figuur 3.1 Bodemclassificatie van de locaties waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd

Tabel 3-1 Foto's en classificatie van de 6 bodemprofielen

Locatie 1 Broekeerdgrond	Locatie 2 Broekeerdgrond	Locatie 3 Leekeerdgrond
		
Locatie 4 Leekeerdgrond	Locatie 5 Woudeerdgrond	Locatie 6 Tuineerdgrond
		

De grondsoort van de bodems waar bos of kruiden- en faunarijk grasland wordt beoogd (monsternamelocaties 7 t/m 9) kan worden gekarakteriseerd op basis van de organische stofklasse en de textuur (ten Cate et al. 1995). Op basis van deze indeling varieert de bouwvoor van zeer humeus mineraal (perceel in het noordoosten, OS-gehalte van 7.8%) tot humusrijk mineraal (perceel in het zuidwesten, OS-gehalte van 8.3-8.9%). De resultaten van deze classificatie zijn in Figuur 3.2 voor de bouwvoor van de bodem ruimtelijk weergegeven.

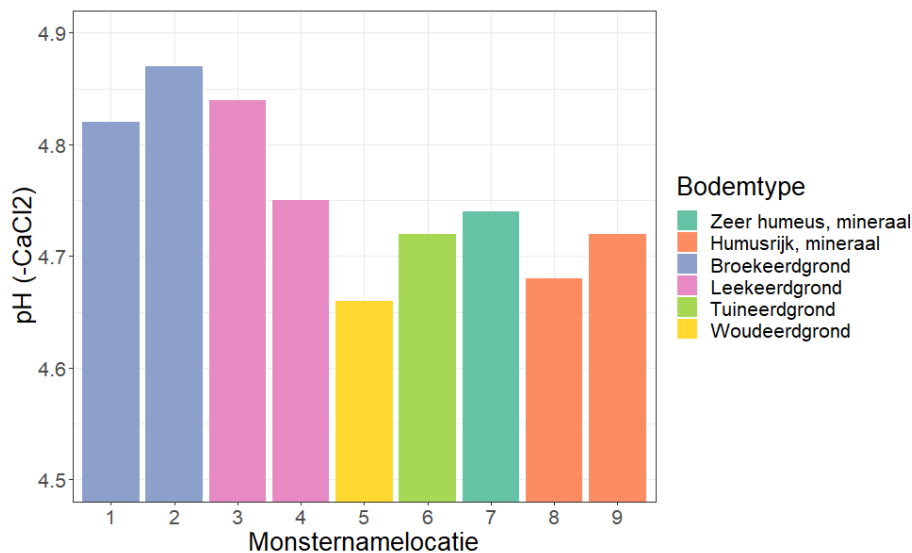


Figuur 3.2 Bodemclassificatie van de toplaag van de bemonsterde percelen waar bos of kruiden -en faunarijk grasland wordt beoogd (classificatie volgens ten Cate et al, 1995)

Het organische stofgehalte is op de locaties waar bos of kruiden -en faunarijk wordt beoogd hoger dan in de bodemlaag hieronder. In de bouwvoor is, afhankelijk van de locatie, een OS-gehalte van 7.8-8.9% gemeten. In de laag hieronder ligt het organisch stofgehalte op de 2.6-3.0%.

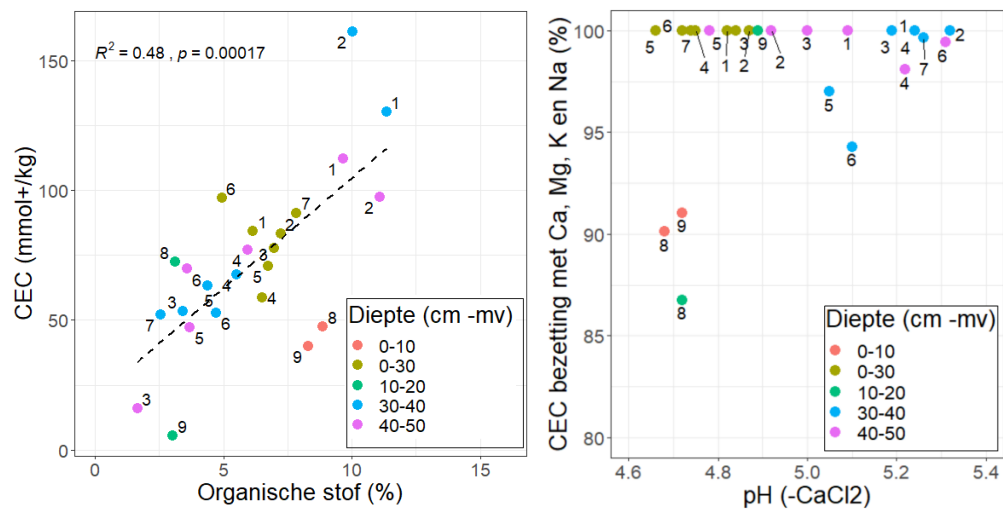
3.2 Zuurgraad en zuurbufferend vermogen

De zuurgraad is bij de ontwikkeling van natuurvegetaties (ook) belangrijk. Voor grasvegetatie op zandgronden geldt een pH(-CaCl₂) streefwaarde van 4.8-5.5. Specifiek voor vochtig hooiland geldt een pH(-H₂O) streefwaarde van >5.5, wat overeenkomt met een pH(-CaCl₂) streefwaarde van >4.7 (Rietstra et al., 2012). In het huidig onderzoek varieert de pH(-CaCl₂) van de toplaag van de bodem van circa 4.7 tot 4.9 (Figuur 3.3). Dit is aan de lage kant, en het wordt daarom aanbevolen om de zuurgraad van de bodems te verhogen middels bekalking wanneer er niet wordt ontgraven.



Figuur 3.3: Zuurgraad van de toplaag van de bodem, gemeten als pH-CaCl₂. De Y-as is aangepast naar een bereik van 4.5 tot 4.9

De bodemvruchtbaarheid van een bodem wordt vaak gekarakteriseerd door de grootte van het klei-humuscomplex (CEC) en het daaruit volgende vermogen van de bodem om kationen te binden en de pH te bufferen. In het huidig onderzoeksgebied wordt de CEC voor een groot deel bepaald door het organisch stofgehalte (Figuur 3.4, links). Door het historische agrarisch management is het organische stofgehalte – en daardoor ook de CEC – verhoogd door de aanvoer van organische mest, de hoge productie en het achterblijven van gewasresten. Naast het vermogen om de bodem om kationen te binden, is de bezetting van de CEC met basische kationen (nutriënten Ca, Mg, Na en K) ook relevant. Deze bezetting wordt veelal sterk bepaald door de pH. Bij een lage pH is er veel competitie tussen waterstofionen en andere kationen met bindingsplaatsen in de bodem. De CEC-verzadiging met Ca, Mg, Na en K is hierdoor vaak lager bij een lagere pH. In het huidig onderzoek is er geen significante relatie tussen de pH en de CEC-bezetting; alleen op locatie 9 is te zien dat de lagere pH in de toplaag in vergelijking met de bodemlaag hieronder gepaard gaat met een lagere CEC-bezetting (Figuur 3.4, rechts). De CEC-verzadiging met Ca, Mg, K en Na is in alle gevallen hoog, en is meestal 100% (Figuur 3.4, rechts). Deze hoge bezetting heeft tot gevolg dat de kans op aluminiumtoxiciteit verwaarloosbaar is. Er zijn geen maatregelen nodig om de basenbezetting te verhogen.



Figuur 3.4 Klei-humus-complex (CEC) versus het organische stofgehalte (links) en de zuurgraad (p) versus de bezetting van de CEC met calcium, magnesium, natrium en kalium (rechts). Het getal geeft de monsternamelocatie aan.

3.3 Fosfaattoestand

De resultaten van de fosfaattoestand van de bodem zijn gepresenteerd in

Tabel 3-2. Naast het beschikbaar P dat reversibel is gebonden aan bodemdeeltjes (P-AL) en de mate waarin de fosfaat bindingscapaciteit van de bodem is bezet met fosfaat (fosfaatverzadigingsgraad, FVG) zijn ook de gehalten direct beschikbaar fosfaat (P-CaCl₂) en de totaal beschikbare fosfaatreserves (P-ox) en de maximale capaciteit van de bodem om fosfaat te binden (Q_{max}) in de tabel opgenomen.

Tabel 3-2 Fosfaattoestand van bodemlagen gekarakteriseerd met uiteenlopende indicatoren voor direct beschikbaar P (P-CaCl₂), de totaal beschikbare fosfaatreserve (P-ox), de maximale capaciteit om P te binden (Q_{max}), reversibel gebonden beschikbaar P (P-AL) en fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Fosfaatklasse van de bodem gebaseerd op P-AL en de FosfaatVerzadigingsGraad (FVG). Groen: Optimaal voor de beoogde natuurontwikkeling. Geel = Suboptimaal voor de beoogde natuurontwikkeling. Oranje = niet optimaal voor de beoogde natuurontwikkeling, actie om de fosfaattoestand te verlagen is nodig

Locatie	Diepte (cm - mv)	P-CaCl ₂ (mg P kg ⁻¹)	P-ox (mmol P kg ⁻¹)	Q _{max} (mmol/kg)	P-AL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	FVG (%)	Fosfaatklasse
1	0-30	2.2	14	80	23	18	C
1	30-40	1.4	14	91	19	16	B
1	40-50	0.5			16		B
2	0-30	1.4	19	152	12	12	B
2	30-40	0.8	23	273	4	8	A
2	40-50	0.4			3		A
3	0-30	1.5	12	129	5	10	A
3	30-40	0.3	8	98	4	8	A
3	40-50	0.3			4		A
4	0-30	1	14	115	9	12	A
4	30-40	0.3	17	151	5	11	A
4	40-50	0.3			7		A
5	0-30	1.4	11	105	7	11	A
5	30-40	0.5	7	94	4	7	A
5	40-50	0.3			6		A
6	0-30	1	15	99	9	15	A
6	30-40	0.4	14	115	8	12	A
6	40-50	0.3			5		A
7	0-30	1.9	28	160	26	18	C
7	30-40	0.3			5		A
8	0-10	10.2	20	35	56	55	E
8	10-20	3			36		D
9	0-10	11.3	24	39	72	62	E
9	10-20	2.2			44		E

Voor de **drie percelen waar vochtig hooiland wordt beoogd** (locaties 1-6) zijn de fosfaatgehalten laag en vormt de fosfaattoestand van de bodem geen belemmering voor de beoogde ontwikkeling van vochtig hooiland. Een uitzondering is locatie 1 (meest noordwestelijke perceel) waar de fosfaattoestand in de toplaag suboptimaal is voor de beoogde ontwikkeling van dotterbloemhooiland.

Intensief verschrallingsbeheer is hier naar verwachting nodig om een volwaardig vochtig hooiland te realiseren. De fosfaat van de toplaag (en ondergrond) van de twee oostelijke percelen (locaties 3 t/m 5) is geclassificeerd als optimaal voor de ontwikkeling van voedselarme vegetatie.

Voor het **noordelijk perceel waar bos of kruiden- en faunarijck grasland wordt beoogd** (locatie 7) is de fosfaattoestand van de toplaag suboptimaal voor de ontwikkeling van matig voedselrijke vegetatie, en is hiermee geschikt voor de ontwikkeling van kruiden -en faunarijck grasland. De fosfaattoestand neemt snel af met de diepte in het profiel; de fosfaattoestand in de 30-40cm -mv bodemlaag is optimaal voor de ontwikkeling van voedselarme vegetatie.

Voor het **zuidelijk perceel waar bos of kruiden- en faunarijck grasland wordt beoogd** (locaties 8 en 9) is de fosfaattoestand van de toplaag in de uitgangssituatie te hoog voor de ontwikkeling van kruiden -en faunarijck grasland. Ter illustratie valt de fosfaattoesstand onder de hoogste klasse volgens landbouwkundige streefwaarden (landbouwkundige klasse "hoog"). De fosfaattoestand is ook hoog voor de ontwikkeling van bos. Dit leidt tot de volgende keuzemogelijkheden:

- Ontgraven, verschrallen of uitmijnen om kruiden -en faunarijck grasland te realiseren
- Geen maatregelen nemen om de fosfaattoestand te verlagen en het ontwikkelen van bos. Er dient echter rekening mee worden gehouden dat het een (zeer) voedselrijk bos zal worden.

De uitgangssituatie (mogelijkheden op basis van fosfaatgehalten in de toplaag) is in de onderstaande figuur ruimtelijk weergegeven.



Figuur 3.5 Uitgangssituatie op basis van de fosfaattoestand van de toplaag Het getal geeft de monsternamelocatie aan.

4 Verlagen van de fosfaattoestand

Uit de resultaten van het bodemonderzoek blijkt dat het op drie locaties relevant is om maatregelen te overwegen die gericht zijn op het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem:

- Het meest noordwestelijk deel van de locatie waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd (locatie 1). Hier is de fosfaattoestand suboptimaal voor de ontwikkeling van vochtig hooiland.
- Het meest zuidelijk gelegen perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden -en faunairijk grasland wordt beoogd (locaties 8 en 9). Voor de ontwikkeling van kruiden -en faunairijk grasland is de fosfaattoestand te hoog.

De opties voor het verlagen van de fosfaattoestand zijn:

- Verschralen: verwijderen van fosfaat door maaien en afvoeren gewasresten.
- Uitmijnen: bevorderen gewasgroei door middel van bemesting met alle benodigde nutriënten behalve fosfaat. Hiermee wordt na maaien en afvoeren de fosfaatonttrekking gemaximaliseerd.
- Plaggen: verwijderen van de zoden (5-10cm -mv).
- Afgraven: verwijderen van de fosfaatrijke toplaag (diepte afhankelijk van de fosfaattoestand in het bodemprofiel).

Verschralen/uitmijnen

Met uitmijnen wordt de biomassaproductie – en daarmee de fosfaatonttrekking – gestimuleerd door het toedienen van meststoffen (stikstof en kali) of kali en een klein beetje stikstof in combinatie met grasklaver. De tijd die het zou duren om de P-toestand door middel van uitmijnen tot het gewenste niveau te doen dalen kan op twee manieren worden berekend. In de theoretische benadering wordt de daling van de fosfaatbeschikbaarheid (FVG) berekend door de daling van de totale P-reserves (P-ox) in de bodem gelijk te stellen aan de P-onttrekking door het gewas. Het aantal uitmijnjaren kan ook worden berekend op basis van de (empirische) resultaten van een 10-jarige uitmijnproef in een beekdal in Drenthe. Deze proef heeft aangetoond dat ook op basis van P-AL een inschatting gemaakt kan worden van het aantal uitmijnjaren. Wel dient opgemerkt te worden dat de opgestelde formules in Roeghoorn niet zijn gevalideerd op andere locaties in Nederland. Het effect van uitmijnen kan in het huidige onderzoeksgebied anders zijn dan in Roeghoorn (bijvoorbeeld door een verschil in hydrologische setting), wat in dat geval zal leiden tot een onder -of overschatting van de tijdsduur. Verder wordt er in de empirische vergelijkingen op basis van P-AL geen rekening gehouden met de fosfaat bindingscapaciteit, die tussen de locaties in het huidige onderzoeksgebied verschilt. Met de theoretische benadering op basis van de fosfaatbeschikbaarheid (FVG) wordt wel rekening gehouden met verschillen in de bindingscapaciteit. De resultaten van de theoretische benadering en de empirische benadering (beekdal Drenthe) zijn in Tabel 4-1 opgenomen. Wanneer er voor verschralen wordt gekozen geldt (minstens) een verdubbeling van de tijdsduur (Schelfhout et al., 2019; Timmermans & Van Eekeren, 2016; Van Rotterdam & Postma, 2017).

In het meest noordwestelijk deel van de locatie waar vochtig hooiland wordt beoogd (locatie 1) leidt verschrallen/uitmijnen al snel tot het bereiken van optimale condities voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (1-6 jaar uitmijnen). Voor het meest zuidelijk perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden -en faunarijck grasland wordt beoogd (locaties 8 en 9) duurt uitmijnen naar verwachting meer dan 10 jaar voordat er een optimale fosfaattoestand voor kruiden -en faunarijck grasland wordt verkregen. Zonder uitmijnen is het naar verwachting mogelijk om de ontwikkeling van (zeer) voedselrijk bos te realiseren.

Tabel 4-1: Berekening van het aantal uitmijnjaren die het zou duren om de fosfaattoestand in de onderzochte percelen te doen dalen tot een gewenst niveau voor de beoogde natuurontwikkeling. De berekening is uitgevoerd op basis van de P-verzadigingsgraad (FVG) in combinatie met de totale P-reserves (P-ox) en op basis van P-AL.

Locatie	Doel voor P toestand	Uitmijnjaren op basis van P-AL	Uitmijnjaren op basis van FVG
1	Optimaal voor vochtig hooiland	6	1
8	Optimaal voor kruiden -en faunarijck grasland	13	12
9	Optimaal voor kruiden -en faunarijck grasland	15	17

Afgraven

Verschrallen/uitmijnen heeft een aantal voordelen boven afgraven (Chardon, 2008). De fosfaatverzadigde toplaag kan meerdere functies hebben die mogelijk verloren gaan bij afgraven (aanwezigheid zaadbank, archeologische/aardkundige waarden, zuurbufferend vermogen). Het voordeel van afgraven is echter dat snel optimale fosfaatcondities voor de ontwikkeling van vegetatie kan worden gerealiseerd. Op het meest zuidelijk gelegen perceel van het onderzoeksgebied (locaties 8 en 9) zou uitmijnen naar verwachting meer dan 10 jaar duren voordat de fosfaattoestand geschikt wordt voor de ontwikkeling van kruiden -en faunarijck grasland. Gezien de benodigde uitmijnperiode en als het de wens is om kruiden -en faunarijck grasland te ontwikkelen wordt geadviseerd om meer dan 20cm af te graven. De exacte ontgravingsdiepte kan echter niet worden bepaald, omdat de fosfaattoestand nog te hoog is op 20cm -mv en de bodemlagen hieronder niet zijn bemonsterd. Nader onderzoek, waar bodemlagen dieper dan 20cm -mv worden bemonsterd, kan hier inzicht in verschaffen.

5 Conclusies

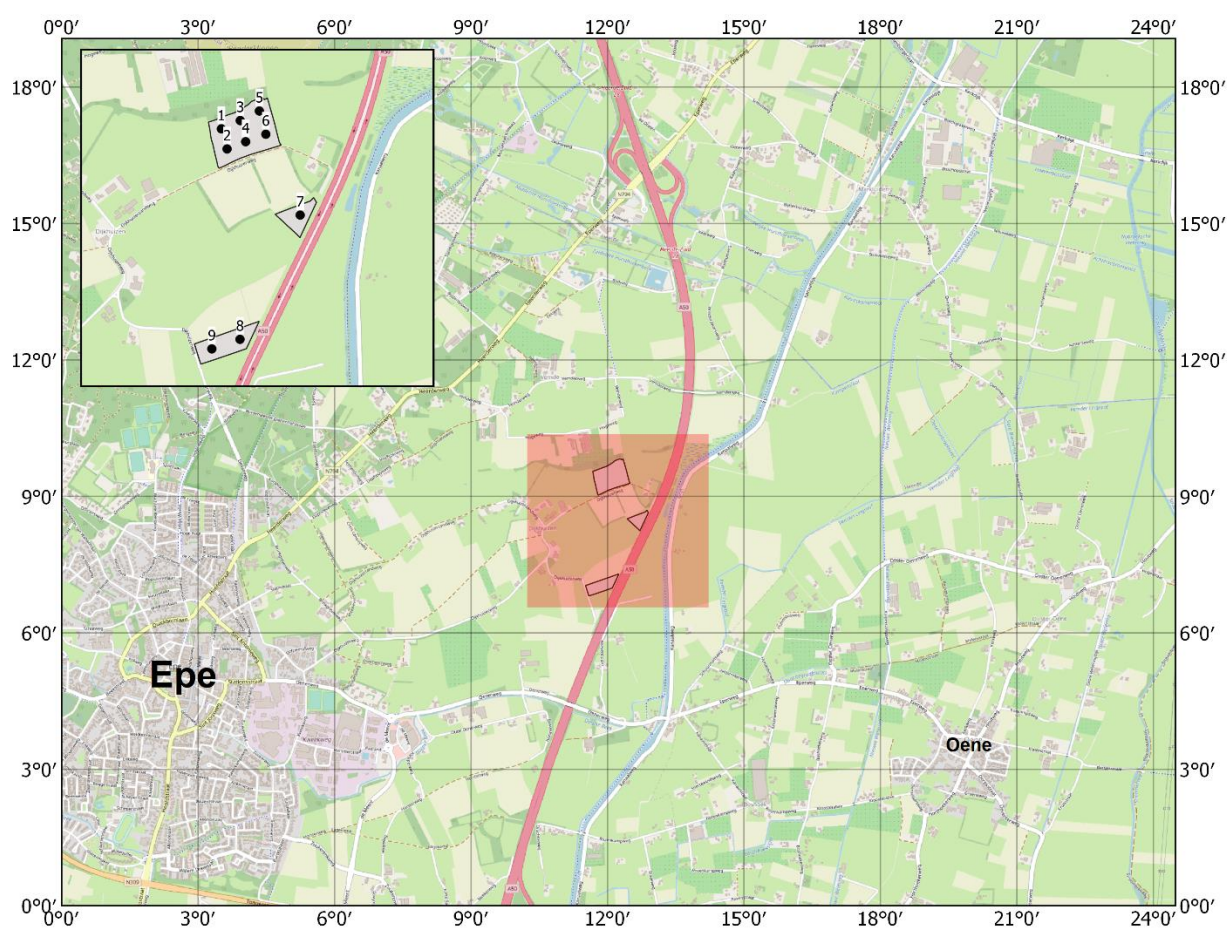
De doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de natuurpotentie van de te onderzoeken percelen op basis van de voedselrijkdom van de bodem en de mogelijkheden om dit via afgraven en/of verschralen versneld te realiseren. Het onderzoek heeft tot de volgende inzichten geleid:

- De bodems in het gebied waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd worden geclassificeerd als broek-, leek-, woud- of tuineerdgronden. De toplaag van de bodems waar de ontwikkeling van bos of kruiden -en faunarijck grasland wordt beoogd bestaan uit zeer humeus tot humusrijk mineraal materiaal.
- In de drie noordelijk gelegen percelen (locaties 1-6) is de fosfaattoestand optimaal voor de ontwikkeling voor vochtig hooiland, met uitzondering van het meest noordwestelijke deel waar de fosfaattoestand suboptimaal is. Middels uitmijnen (geschatte tijdsduur van 1-6 jaar) of intensief verschralingsbeheer (geschatte tijdsduur van 2-12 jaar) kan de fosfaattoestand hier ook naar optimale waarden worden gebracht.
- In het noordelijk gelegen perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden -en faunarijck grasland wordt beoogd (locatie 7) is de fosfaattoestand geschikt voor de ontwikkeling van kruiden -en faunarijck grasland. Hiervoor is geen aanvullende actie nodig.
- In het meest zuidelijk gelegen perceel waar de ontwikkeling van bos of kruiden -en faunarijck grasland wordt beoogd (locaties 8-9) is de fosfaattoestand te hoog voor de potentiële ontwikkeling van kruidenrijk grasland en hoog voor de ontwikkeling van bos. De geschatte tijdsduur van uitmijnen is hier hoog (>10 jaar). Mogelijkheden zijn het ontwikkelen van (zeer) voedselrijk bos, of het afgraven van meer dan 20cm van de bodem om kruiden -en faunarijck grasland te ontwikkelen. Wanneer voor het laatste wordt gekozen is aanvullend onderzoek nodig om de fosfaattoestand in de diepere bodemlagen (>20cm) te bepalen, waarna de exacte ontgravingdiepte kan worden bepaald.
- De zuurgraad van de bodems is in alle gevallen laag (<4.9 pH-CaCl₂). Geadviseerd wordt om de pH te verhogen middels bekalking.

Literatuur

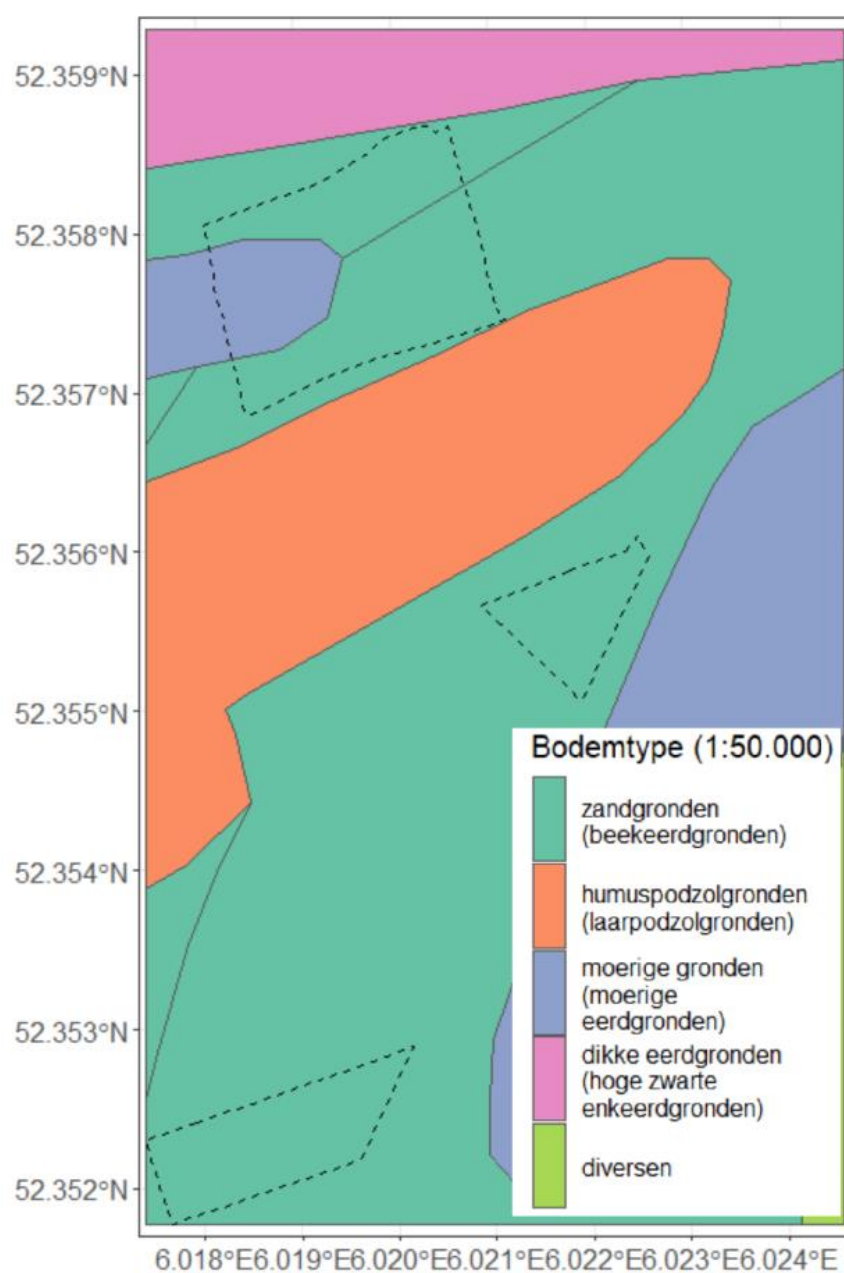
- Chardon, W. (2008). *Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling: een studie in het kader van 'Bodemdiensten'*. Wageningen: Alterra.
- Postma, R., van Rotterdam, D., Hut, H., Warners, H., Blaauw, R., Schepers, A., . . . de Haas, M. (2015). *Fosfaatuitmijning voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Eindrapport 2010 - 2014*. Wageningen: NMI.
- Rietstra, R., Brus, D., Wamelink, G., Kemmers, R., & Voogd, J. (2012). *Inrichtingsontwerp van het bodemmeetnet voor de natuur in de provincie Gelderland*. Wageningen: Alterra.
- Schelfhout, S., Schrijver, A. D., Vanhellemont, M., Vangansbeke, P., Wasof, S., Perring, M. P., . . . Mertens, J. (2019). Phytomining to re-establish phosphorus-poor soil conditions for nature restoration on former agricultural land. *Plant Soil*, 440, 233-246.
- ten Cate, J., van Holst, A., Kleijter, H., & Stolp, J. (1995). *Handleiding bodemgeografisch onderzoek - Richtlijnen en voorschriften deel A: Bodem*. Wageningen: DLO-Staring Centrum.
- Timmermans, B. G., & van Eekeren, N. (2016). Phytoextraction of Soil Phosphorus by Potassium-Fertilized Grass-Clover Swards. *Journal of Environmental Quality*, 701-708.
- Timmermans, B., & van Eekeren, N. (2016). Phytoextraction of Soil Phosphorus by Potassium-Fertilized Grass-Clover Swards. *Journal of Environmental Quality*, 701-708.
- van Delft, S. (2013). *Natuurpotentie in graslanden bij Muggenbeet en Duinigermeer*. Wageningen: Alterra.
- van Delft, S., Maas, G., & Brouwer, F. (2014). *Fosfaatonderzoek Noorderpark*. Wageningen: Alterra.
- van Rotterdam, D., & Postma, R. (2017). *Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; effect van acht jaar uitmijnen en verschralen op de fosfaattoestand van de bodem*. Wageningen: Nutriënten Management Instituut.

Bijlage I: Regionale ligging van de onderzoekslocatie

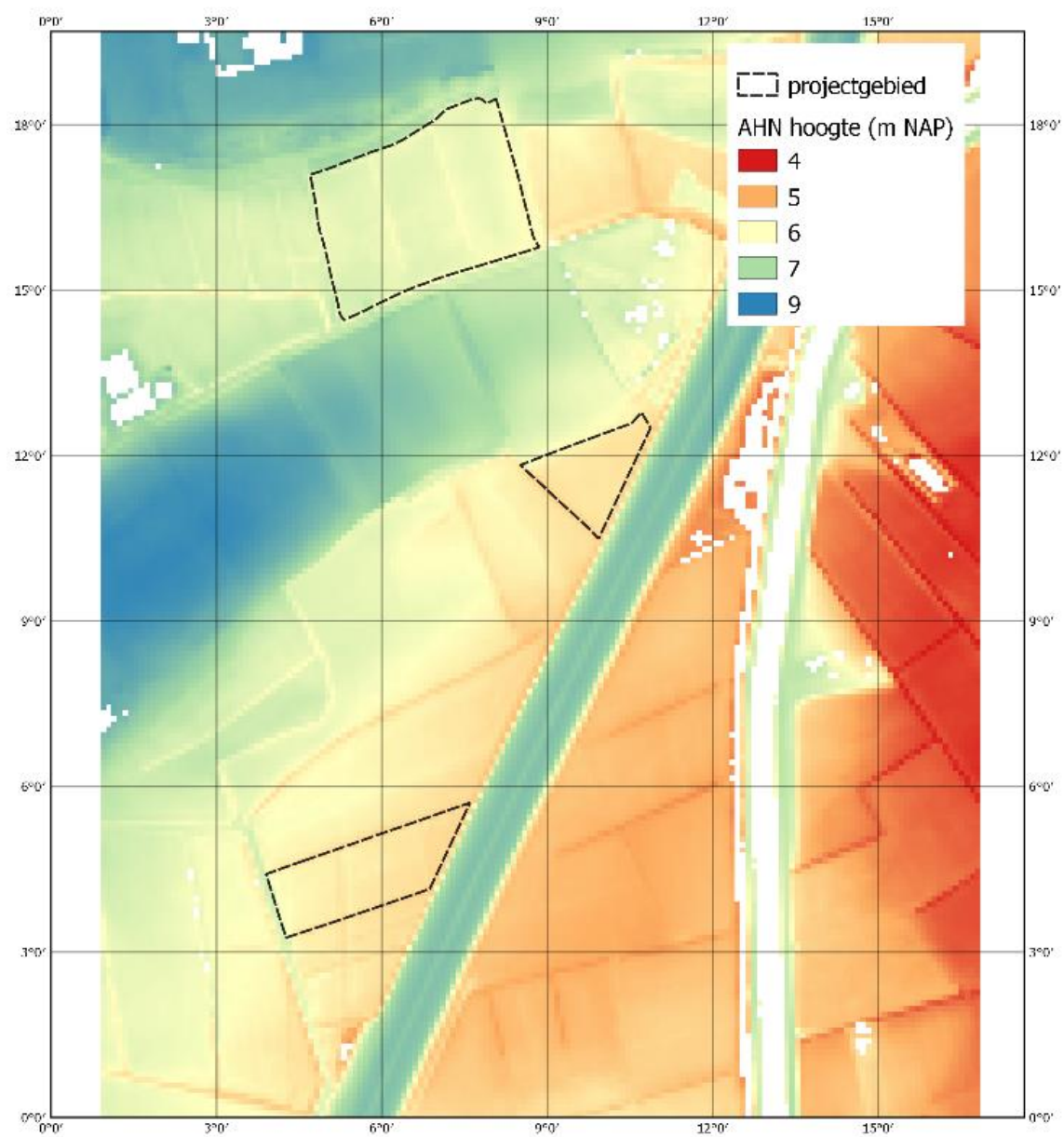


Figuur S1-1: Regionale ligging van de onderzoekslocatie

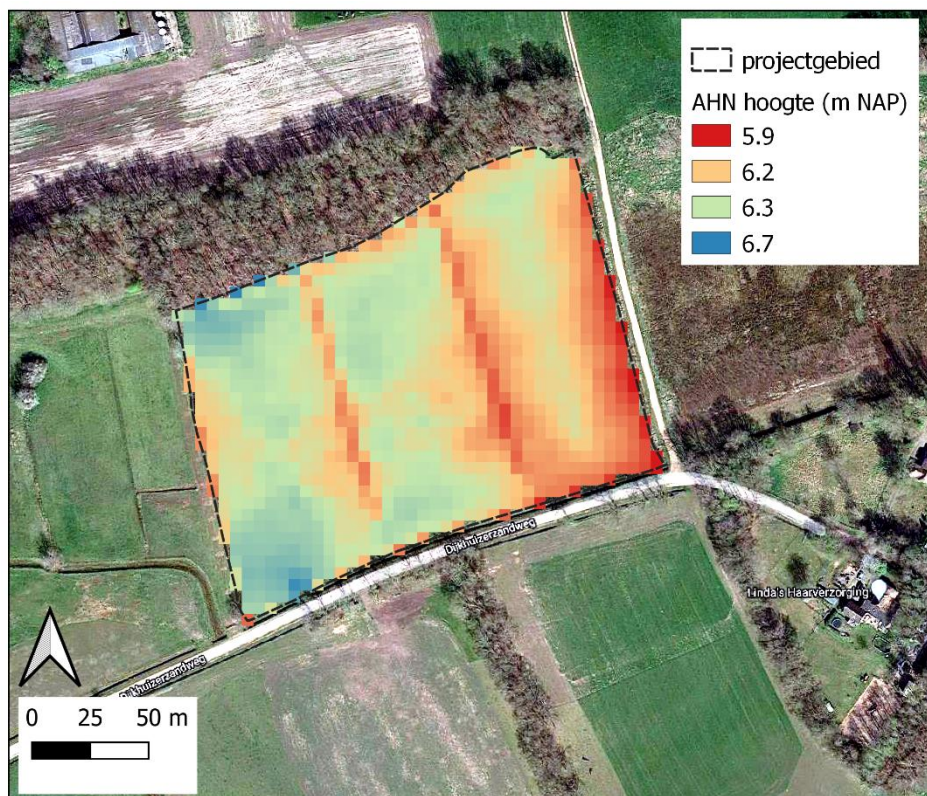
Bijlage II: Bodemkaart (1:50.000) en AHN hoogtekaarten



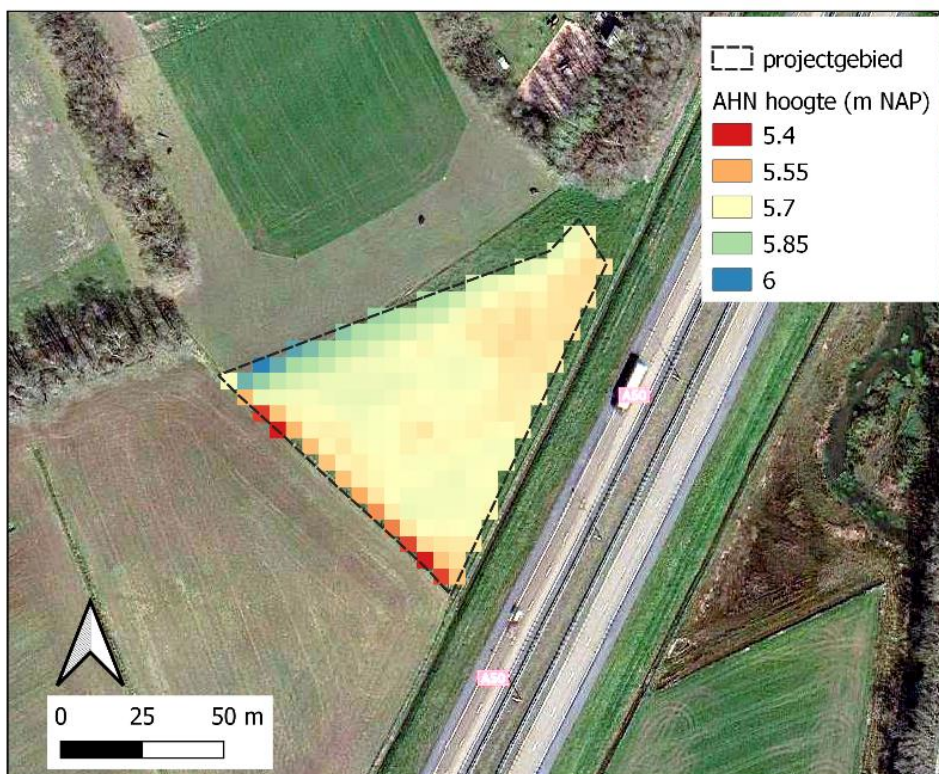
Figuur S2-1: Bodemkaart (1:50.000). De zwart gearceerde lijnen betreft de omlijning van het projectgebied



Figuur S2-2: Regionale hoogtekaart (AHN)



Figuur S2-3: Hoogtekaart van het noordelijk deel van het onderzoeksgebied waar de ontwikkeling van vochtig hooiland wordt beoogd (monsternamelocaties 1 t/m 6)



Figuur S2-4: Hoogtekaart van het noordelijk gelegen perceel waar bos of kruiden -en faunairijk grasland wordt beoogd (monsternamelocatie 7)



Figuur S2-5: Hoogtekaart van het zuidelijk gelegen perceel waar bos of kruiden -en faunarijk grasland wordt beoogd (monsternamelocaties 8 en 9).

Bijlage III: Profielbeschrijvingen

Tabel S3-1: Profielbeschrijving boring nr.1

Diepte (cm -mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-5	1 Ah	Zandig leem	Humus rijk	
5-10	2 Ahg	Zandig leem	Humus rijk	Gley
10-30	3 Ahg	Zandig leem	Humus rijk	Kleiiger en siltiger dan erboven, gley
30-40	1 Cg	Sterk lemig	Humus arm	Wat grind, gley
40-50	2 Cg	Kleiige leem	Humus arm	Veraard veen, keileem, grind, slecht gesorteerd
50-60	3 Cg	Lichte klei	Humus arm	Veraard veen, keileem, geen silt, grind, slecht gesorteerd, naar onder toe meer gereduceerd
60-90	4 Cr	Grof zand	Humus arm	Niet veraard veen, geen silt en klei, grind, slecht gesorteerd, naar onder toe: • Meer veen, • Kleiner grind, • Grover zand.
90-120	5 Cr	Grof zand	Geen humus	Weinig niet veraard veen, goed gesorteerd

Tabel S3-2: Profielbeschrijving boring nr.2

Diepte (cm -mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-15	1 Ah	Zandig leem	Humus rijk	
15-40	2 Ahg	Zandig leem	Humus rijk	Leem ballen, gley
40-59	1 C	Moerig	Humus rijk	Volledig veraard veen
59-75	2 Cg	Sterk lemig zand	Humus arm	Veraard veen, keileem, grind, slecht gesorteerd, gley
75-100	3 Cr	Sterk lemig zand	Humus arm	Weinig niet veraard veen, keileem, grind, slecht gesorteerd, naar onder toe: • Meer grind, • Grover zand.
100-120	4 Cr	Zwak lemig grof zand	Geen humus	Slecht gesorteerd, wat grind

Tabel S3- 3 Profielbeschrijving boring nr.3

Diepte (cm - mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-10	1 Ah	Siltig leem	Humus rijk	Klein beetje klei
10-25	2 Ahg	Siltig leem	Humus rijk	IJzeroer
25-40	1 Cg	Siltig leem	Geen humus	Bestaat bijna geheel uit ijzeroer met wat grind
40-60	2 Cg	Zandig leem	Geen humus	Keileem, slecht gesorteerd, komt grof zand voor
60-120	3 Cr	Sterk lemig grof zand	Geen humus	Bovenin grind

Tabel S3-4: Profielbeschrijving boring nr.4

Diepte (cm - mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-10	1 Ah	Zware zavelig leem	Humus rijk	
10-20	2 Ahg	Zware zavelig leem	Humus rijk	Lemiger dan boven, ijzeroer
20-45	3 Ahg	Kleiig leem	Humus rijk	Leem met klei, ijzeroer
45-70	1 Cg	Zandig leem naar zwak lemig zand	Geen humus	Geen ijzeroer wel gley, wat grind
70-120	2 Cr	Leem arm zand	Geen humus	Banden veraard veen

Tabel S3-5: Profielbeschrijving boring nr.5

Diepte (cm -mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-10	1 Ah	Matig zware klei	Humus rijk	Zeer weinig leem
10-30	2 Ahg	Matig zware klei	Humus rijk	Weinig leem
30-40	3 Ahg	Lichte klei	Humus rijk	Leem ballen
40-60	1 Cg	Sterk lemig zand	Geen humus	
60-73	2 Cr	Zeer sterk lemig zand	Geen humus	Banden veraard veen
73-90	3 Cr	Grof zand	Geen humus	Banden veraard veen
90-120	4 Cr	Zand	Geen humus	

Tabel S3-6: Profielbeschrijving boring nr.6

Diepte (cm - mv)	Horizont	Textuur	Humus	Overige kenmerken
0-10	1 Ah	Zeer sterk lemig zand	Humus rijk	
10-25	2 Ahg	Zandig leem	Humus rijk	Kleiiger dan laag erboven, gley
25-45	3 Ahg	Zware zavel	Humus rijk	gley
45-60	4 Ahg	Zware zavel	Humus rijk	IJzeroer, keileem, met grof zand, slecht gesorteerd, gley
60-70	1 Cg	Zwak lemig zand	Geen humus	Keileem, Brokken siltig leem, veel grind, slecht gesorteerd, gley
70-85	2 Cg	Zand	Geen humus	Brokken niet veraard veen
85-100	3 Cg→r	Zand	Geen humus	Banden niet veraard veen, overgang van gley naar gereduceerd
100-120	4 Cr	Zand	Geen humus	banden niet veraard veen

Bijlage IV: Resultaten bodemanalyses

Tabel S4-1: Textuur, organische stofgehalte en de zuurgraad

Locatie	Diepte (cm -mv)	Klei (%)	Silt (%)	Zand (%)	Organische stof (%)	pH(-CaCl ₂)
1	0-30	6	23	65	6	5
1	30-40	8	25	57	11	5
1	40-50	8	29	54	10	5
2	0-30	13	13	67	7	5
2	30-40	18	17	56	10	5
2	40-50	16	15	60	11	5
3	0-30	11	24	58	7	5
3	30-40	14	17	66	3	5
3	40-50	5	12	81	2	5
4	0-30	15	18	61	7	5
4	30-40	16	16	60	6	5
4	40-50	13	17	64	6	5
5	0-30	13	22	59	7	5
5	30-40	15	23	58	4	5
5	40-50	8	20	69	4	5
6	0-30	12	16	67	5	5
6	30-40	15	14	66	5	5
6	40-50	12	15	69	4	5
7	0-30	11	23	59	8	5
7	30-40	7	42	49	3	5
8	0-10	2	17	72	9	5
8	10-20	4	24	68	3	5
9	0-10	3	22	66	8	5
9	10-20	5	41	51	3	5

Tabel S4-2: Klei-humuscomplex (CEC) en uitwisselbare gehalten van Ca, Mg, Na en K

Locatie	Diepte (cm - mv)	CEC (mmol+ kg ⁻¹)	Ca (mmol+ kg ⁻¹)	Mg (mmol+ kg ⁻¹)	Na (mmol+ kg ⁻¹)	K (mmol+ kg ⁻¹)
1	0-30	84	84	7	0	0
1	30-40	130	113	18	0	2
1	40-50	112	120	13	0	1
2	0-30	83	77	9	0	1
2	30-40	161	147	19	0	1
2	40-50	98	83	15	0	1
3	0-30	78	73	15	0	1
3	30-40	53	44	10	0	1
3	40-50	16	20	4	0	1
4	0-30	59	52	8	0	0
4	30-40	67	60	8	0	0
4	40-50	77	63	11	0	1
5	0-30	71	64	9	0	1
5	30-40	63	53	7	0	1
5	40-50	47	43	6	0	0
6	0-30	97	78	19	0	2
6	30-40	53	43	6	0	0
6	40-50	70	58	10	0	1
7	0-30	91	77	13	0	1
7	30-40	52	43	8	0	1
8	0-10	48	36	6	0	1
8	okt-20	72	50	11	0	1
9	0-10	40	30	6	0	0
9	okt-20	5	12	2	1	0

Tabel S4-3: Beschikbare gehalten van kalium en stikstofverbindingen (gemeten middels een CaCl_2 extractie)

Locatie	Diepte (cm - mv)	K(- CaCl_2 , mg kg^{-1})	NH_4 (- CaCl_2 , mg N kg^{-1})	NO_2 (- CaCl_2 , mg N kg^{-1})	NO_3 (- CaCl_2 , mg N kg^{-1})
1	0-30	32	5.2	0.04	5.6
1	30-40	15	3.7	0.06	5.2
1	40-50	16	4.4	0.02	1.9
2	0-30	26	3.6	0.06	3.7
2	30-40	14	2.4	0.09	5.9
2	40-50	22	9.3	0.03	2.3
3	0-30	29	5.1	0.03	3.7
3	30-40	15	3.1	0.02	1.5
3	40-50	12	2.5	<0.01	0.9
4	0-30	21	4	0.03	3.8
4	30-40	8	1.7	0.03	2
4	40-50	9	2.7	0.01	1
5	0-30	26	4.6	0.03	4.7
5	30-40	12	2.3	0.03	2.9
5	40-50	10	4.2	0.01	1.3
6	0-30	19	3.7	0.03	4.5
6	30-40	10	1.8	0.03	3.6
6	40-50	9	2.4	0.02	1.7
7	0-30	30	4.3	0.03	<0.1
7	30-40	17	1.8	<0.01	<0.1
8	0-10	44	10.8	0.06	4.4
8	10-20	11	2.6	0.01	0.3
9	0-10	46	10.1	0.06	1.9
9	10-20	11	2.4	0.01	<0.1

