

December 2014

rapport 1390-VI

## Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouw- grond in Drenthe; Resultaten 2010 tot 2014

Concept 1-12-2014

R. Postma (NMI)  
D. van Rotterdam (NMI)  
H. Hut (SBB)  
H. Warners (SBB)  
K. Ettema (SBB)  
R. Blaauw (SBB)  
A. Scheper (Provincie Drenthe)  
H. Hidding (Provincie Drenthe)  
S. Verbeek (Waterschap Noorderzijlvest)  
R. Hofstra (Dienst Landelijk Gebied regio Noord)  
H. Smeenge (melkveehouder)  
M.J.G. de Haas (NMI)

nutriënten management instituut nmi bv  
postbus 250  
6700 ag wageningen  
binnenhaven 5  
6709 pd wageningen  
tel. (088) 876 12 80  
fax (088) 876 12 81  
e-mail [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)  
internet [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)



provincie Drenthe



---

© 2014 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**

De heer dr.ir. S.W. Moolenaar, SKB

1 x

Consortiumpartners

10 x

## Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doelstellingen	4
1.3 Onderzoekslocatie	4
1.4 Beheer	6
1.5 Communicatie	6
2 Uitvoering en waarnemingen proefvelden 2010-2014	7
2.1 Aanleg van de proefplotjes	7
2.2 Bijzonderheden, uitvoering en waarnemingen	7
2.3 Uitgevoerde bemesting en maaregime	9
2.4 Gewasmonsters	9
2.5 Bodemmonsters	10
2.6 Inventarisatie vegetatie	11
2.7 Verloop grondwaterstand	11
3 Resultaten proefvelden 2010 tot en met 2014: gewas	12
3.1 Gewasopbrengst	12
3.2 P-onttrekking gewas	13
3.3 Stikstof- en kalibalans gewas	15
4 Resultaten proefvelden 2010 tot en met 2014: bodem	18
4.1 Grondwaterstand	18
4.2 Algemene bodemkenmerken	18
4.3 Fosfaattoestand	20
4.4 Koppeling grond en gewasdata	25
4.5 Verandering in bodem fosfaattoestand als gevolg P opname	27
5 Conclusies en aanbevelingen	29
6 Literatuur	30

## Samenvatting en conclusies

In het kader van het SKB-project “Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe” is in de periode 2010-2014 onderzocht wat de mogelijkheden zijn om de fosfaattoestand in de bodem tot het gewenste niveau terug te brengen door uitmijning en verschraling. Er is een pilot uitgevoerd in het gebied Roeghoorn, een gedeelte van een beekdal tussen Norg en Roden, met een areaal van ca. 75 ha. In dit rapport worden de resultaten van de vier projectjaren, 2010 tot 2014, beschreven. Hierbij worden de resultaten geanalyseerd en in een breder perspectief geplaatst.

Op 6 plekken in het gebied is in proefveldjes een vergelijking gemaakt tussen uitmijning en verschraling. Op één van de plekken in het gebied is de bovengrond afgegraven. De omstandigheden op de 6 locaties variëren aanzienlijk, door verschillen in grondsoort (zand-veen), grondwaterstand en voedselrijkdom (fosfaattoestand grond). In de uitmijn-objecten is een bemesting uitgevoerd met stikstof en kali, maar niet met fosfaat, zodat de gewasgroei op peil blijft en een maximale hoeveelheid fosfaat uit de bodem wordt onttrokken door het gras. In de verschralings-objecten wordt geen bemesting uitgevoerd. Het gras wordt in beide objecten 2-3 x gemaaid en afgevoerd. Ieder jaar zijn in de proefveldjes waarnemingen gedaan aan bodem, gewas/vegetatie en de grondwaterstand.

Uit de opbrengstbepalingen en samenstelling van de vegetatie blijkt dat het effect van uitmijning op de biomassa-productie en fosfaatonttrekking groot was. De opbrengst en P-onttrekking door het gras was bij uitmijning gemiddeld over de projectperiode circa twee keer zo hoog dan bij verschraling.

Uit het grondonderzoek blijkt dat de uitgangstoestand van fosfaat behoorlijk verschilde tussen de 6 plekken. Dit geldt niet voor de direct beschikbare fractie (P-CaCl<sub>2</sub>), want die was overal zeer laag, maar wel voor het voor gras beschikbare fosfaat (P-AL) en de beschikbaarheid op langere termijn (P-ox). Zo varieerde de P-AL in de bovengrond van meer dan 20 (locatie 1) tot ca. 5 (locatie 4 en 6). Ook de fosfaattoestand in de ondergrond (30-50 cm diepte) verschilde aanzienlijk, want die was laag op de plekken 1-4 (circa P-AL 5), maar relatief hoog op de plekken 5 en 6 (P-AL > 20).

Op de locaties waar P-AL in de uitgangssituatie relatief hoog was (locaties 1, 2, 3 verschralen en 5 uitmijnen), nam deze gedurende de proef zowel bij verschralen als uitmijnen af. Op de locaties waar een verantwoorde vergelijking tussen verschralen en uitmijnen mogelijk is (locatie 1 en 2) was de afname in P-AL tussen 2010 en 2014 bij uitmijnen sterker dan bij verschralen. Op de locaties waar P-AL relatief laag was (locatie 3 uitmijnen, 4 en 6) nam P-AL niet of slechts weinig af.

### Conclusies:

- De opbrengst en fosfaat-opname door het gras was bij uitmijning gemiddeld over de gehele projectperiode (begin 2010 – eind 2014) circa twee keer zo hoog dan bij verschraling.
- Bij een zeer lage fosfaatbeschikbaarheid (P-AL < 5) van de bovengrond, was dit niet altijd het geval. In combinatie met drogere omstandigheden (locatie 3) leidt uitmijnen niet tot een hogere fosfaatopname dan verschralen. In combinatie met nattere omstandigheden en een hogere P-beschikbaarheid in de ondergrond (locatie 6), leidt uitmijning ook bij een zeer lage P-beschikbaarheid in de bovengrond wel tot een hogere P-onttrekking dan verschraling.
- De afname in P-AL blijft op alle locaties achter bij wat je op basis van de fosfaatonttrekking door het gewas zou verwachten. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat de fosfaatfractie die wordt bepaald met de P-AL extractie sterk wordt gebufferd door de totale P-reserves (P-totaal en P-ox) in de bodem.

In overeenstemming met eerdere studies zijn de belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de fosfaatbeschikbaarheid als volgt:

- De fosfaattoestand in de bovengrond, uitgesplitst naar zowel de reversibel gebonden P als de totaal gebonden P die de reversibel gebonden P buffert.
- De fosfaattoestand in de bodemlagen direct onder de bouwvoor. Dit is met name belangrijk voor locaties met een hoge grondwaterspiegel. Voor droge locaties speelt dit een minder grote rol, maar het wordt wel belangrijk wanneer de grondwaterspiegel omhoog wordt gezet.
- De hydrologische setting. Bij een hoge grondwaterstand is de fosfaatonttrekking door het gewas hoger door hogere gewasopbrengsten en een betere fosfaatbeschikbaarheid voor plantenwortels en is door fluctuerende redox omstandigheden ook de beschikbaarheid van P uit diepere bodemlagen hoger.

## 1 Inleiding

Het vijfjarige SKB-project met de titel “Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe” is een samenwerkingsproject waarbij Staatsbosbeheer, de Provincie Drenthe, Waterschap Noorderzijlvest, Dienst Landelijk Gebied en NMI zijn betrokken. Voorliggend rapport is de eindrapportage van het vijfjarige project dat tussen 2010 en 2014 is uitgevoerd.

### 1.1 Aanleiding

Aanleiding voor het onderzoek was dat het consortium graag wil demonstreren hoe een duurzaam bodembeheer bij kan dragen aan het scheppen van de randvoorwaarden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden en hoe daarbij sprake kan zijn van een actieve samenwerking tussen verantwoordelijke overheden, terreinbeherende organisaties en agrarisch ondernemers. De inzet is om alternatieven te onderzoeken voor het afgraven van landbouwgrond. Hierbij is naast afgraven ook “fosfaatuitmijning” vergeleken met de traditionele manier van verschraling. Bij uitmijning wordt door middel van het toedienen van N en K meststoffen gewasgroei gestimuleerd. Omdat geen fosfaatmeststoffen worden toegediend wordt door het stimuleren van de gewasgroei ook de fosfaatonttrekking bevorderd, waardoor na maaien en afvoeren de bodem versnelt kan worden verschraalt. Bij verschralen wordt ook gemaaid en afgevoerd maar worden geen meststoffen toegediend.

### 1.2 Doelstellingen

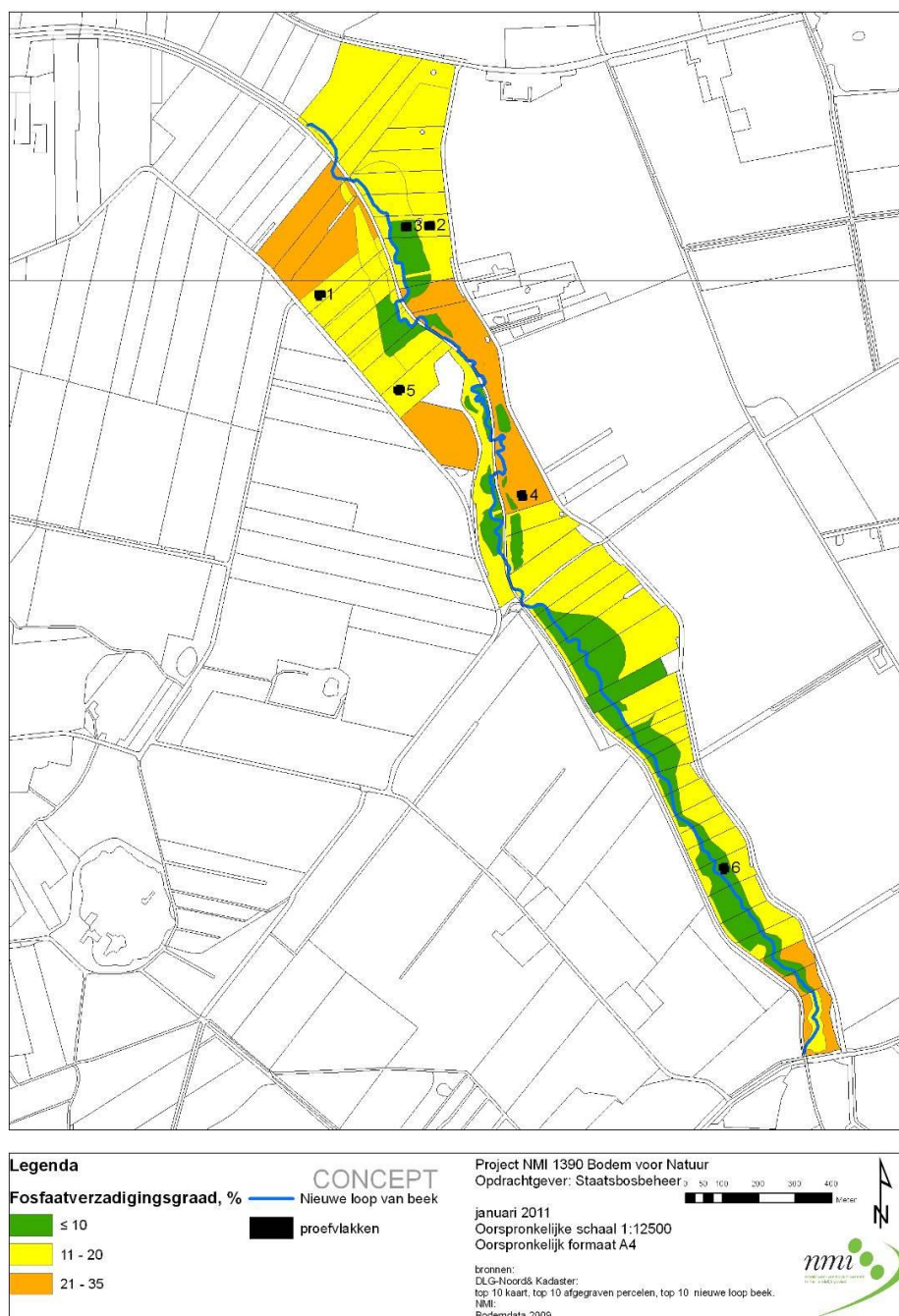
Het doel van het project is om na te gaan welke bijdrage uitmijnen heeft in relatie tot andere maatregelen bij de voorbereiding van de bodem op natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in beekdalen in Noord Nederland, waarbij tevens een bijdrage wordt geleverd aan het verbeteren van de waterkwaliteit. Daarnaast is het doel om inzicht te verwerven in de kansrijkheid dat de gewenste natuur kan worden gerealiseerd als de P-toestand van de bodem tot het gewenste niveau is verlaagd. Ook zijn de consortiumpartners geïnteresseerd in de wijze waarop het uitmijnbeheer in de praktijk kan worden gerealiseerd, waarbij het met name de vraag is hoe agrariërs daarbij kunnen worden ingeschakeld.

De onderzoeksvragen die daartoe in het project aan de orde komen zijn:

1. Hoe kan uitmijning bijdragen aan het realiseren van randvoorwaarden voor natuurontwikkeling?
2. Hoe kan fosfaatuitmijning in de praktijk gestalte krijgen?
3. Hoe kan daarbij sprake zijn van samenwerking tussen landbouw en natuur?
4. Hoe kan meer bekendheid worden gegeven aan uitmijning bij partijen die betrokken zijn bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in Noord Nederland?
5. Hoe kan het draagvlak voor uitmijning op (strategisch) beleidsniveau worden vergroot en hoe kan het worden ingebed in beleid?

### 1.3 Onderzoekslocatie

In het kader van het project is een pilot uitgevoerd in het gebied Roeghoorn, een gedeelte van een beekdal tussen Norg en Roden in Noord Drenthe, met een areaal van ca. 75 ha. In dit gebied zijn gronden recent uit de landbouw overgedragen aan SBB voor natuurontwikkeling. Dit gebied staat model voor een veel groter areaal aan gronden in Noord Nederland, waar de omstandigheden vergelijkbaar zijn.



Figuur 1-1 Overzicht van de fosfaatverzadigingsgraad in het studiegebied en ligging proeflocaties.

Eind 2008/begin 2009 is de bodemvruchtbaarheidstoestand in deelgebieden van het studiegebied Roeghoorn bepaald, waarbij in het bijzonder aandacht is besteed aan de fosfaattoestand. Op basis van de fosfaatbeschikbaarheid, die is gekarakteriseerd door de bepaling van drie fosfaatfracties (Figuur 1-1) is geconcludeerd dat er goede perspectieven zijn om de randvoorwaarden voor natuurontwikkeling binnen een afzienbare periode te realiseren via verschraling en/of fosfaatuitmijning (Postma et al., 2009). De fosfaatverzadigingsgraad was steeds lager dan 50%, waarbij de kansrijkheid voor het realiseren van de gewenste daling van de P-toestand via uitmijning goed is (Van Delft et al., 2006). In een aantal situaties zou de fosfaattoestand volgens de toen geldende inzichten voor natuurontwikkeling niet of nauwelijks verder hoeven te worden verlaagd, zodat uitmijning niet nodig is en direct kan worden

overgegaan op natuurontwikkeling. Voor de gedeelten waar een verlaging van de fosfaattoestand wel nodig is, is een voorlopig bemestingsadvies voor fosfaatuitmijning opgesteld.

In het gebied zijn een zestal proefveldjes aangelegd waarbij een vergelijking wordt gemaakt tussen verschraving en uitmijning. Op twee van de zes locaties is de bovengrond afgeplagd voor het starten van de twee behandelingen (locatie 3 en 6).

De proef is zo opgezet dat het effect van uitmijning kan worden onderzocht bij verschillende uitgangstoestanden t.a.v. grondsoort, vochttoestand/hydrologische situatie en fosfaattoestand.

Daarnaast kan ook de intensiteit van het beheer effect hebben op de daling van de P-toestand. Tabel 1-1 geeft een overzicht van de variatie tussen de proeflocaties.

Tabel 1-1 Enkele globale kenmerken van de proefplotjes. FVG is fosfaatverzadigingsgraad (Figuur 1-1).

Locatie	FVG	aantal x maaien	Geplagd	Grondsoort	Behandelingen
1a	hoog	3x	Nee	Leemarm zand	Onbemest
1b	hoog	3x	Nee		Bemest/uitmijning
2a	gemiddeld	3x	Nee	Lemig fijn zand	Onbemest
2b	gemiddeld	3x	Nee		Bemest/uitmijning
3a	laag	3x	Ja	Leemarm zand	Onbemest
3b	laag	3x	Ja		Bemest/uitmijning
4a	hoog	2x	Nee	veen op zand	Onbemest
4b	hoog	2x	Nee		Bemest/uitmijning
5a	gemiddeld	2x	Nee	Zand op veen op	Onbemest
5b	gemiddeld	2x	Nee	leem	Bemest/uitmijning
6a	laag/ gemiddeld	2x	Ja	Zand op veen/venige klei	Onbemest
6b	laag/ gemiddeld	2x	Ja		Bemest/uitmijning

#### 1.4 *Beheer*

Hiertoe wordt met name gekeken naar de samenwerking tussen Staatsbosbeheer en een melkveehouder in het pilotgebied. De gemaakte afspraken zijn beschreven en regelmatig geëvalueerd gedurende het project.

#### 1.5 *Communicatie*

Hiertoe is aan het begin van het project een communicatieplan opgesteld (Postma et al., 2011-I). Relevante partijen die niet direct bij het project zijn betrokken zijn / zullen via excursies en andere bijeenkomsten in het pilotgebied worden uitgenodigd. Op deze wijze is de pilot gebruikt om het gesprek tussen relevante partijen op gang te brengen. De resultaten zullen worden gebruikt als input voor beleidsontwikkeling op provinciaal en landelijk niveau.

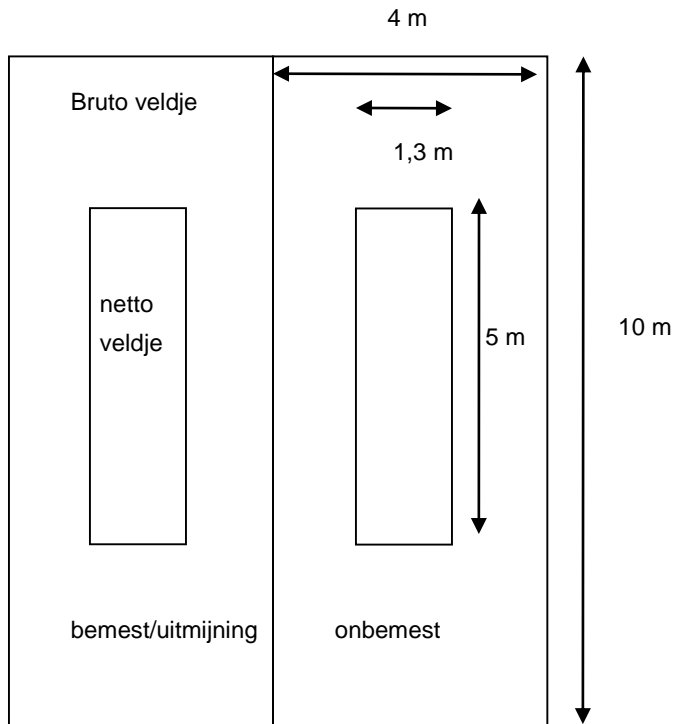
In het eerste tussenrapport (Postma et al., 2011-I) is de opzet en uitvoering van proef in detail beschreven. De resultaten uit elk proefjaar (2010, 2011, 2012, en 2013) zijn beschreven apart verschenen rapporten (Postma et al., 2011-II, Postma et al., 2012, Postma et al., 2013 en Van Rotterdam et al., 2014). De resultaten van 2014 worden in het voorliggende eindrapport samen met de voorgaande resultaten als één geheel besproken.



## 2 Uitvoering en waarnemingen proefvelden 2010-2014

### 2.1 Aanleg van de proefplotjes

Op de locaties is steeds een gedeelte met afmeting van ca. 25 x 25 m afgebakend waar geen bemesting wordt uitgevoerd. Daarbinnen zijn steeds 2 veldjes (1 uitmijn-object (bemest met N en K) en 1 controle-object met gangbare verschrallingsbeheer (onbemest) aangelegd met een afmeting van 4 x 10 m. Dit zijn de bruto veldjes. Binnen de bruto veldjes wordt een netto-veldje uitgezet, waarbinnen de opbrengstbepaling wordt uitgevoerd. De afmeting hiervan is steeds 1,3 x 5 m (de breedte van de maaibalk is 1,30 m) (Figuur 2-1).



Figuur 2-1 Plattegrondje inclusief afmetingen van de bruto en netto veldjes.

### 2.2 Bijzonderheden, uitvoering en waarnemingen

De waarnemingen zijn verricht op de 6 locaties in het gebied waar de proefplotjes zijn aangelegd en waar steeds een vergelijking is gemaakt tussen verschralling (geen bemesting; maaien en afvoeren) en uitmijning (= bemesting met N en K; eveneens maaien en afvoeren).

Tabel 2-1 geeft een beknopt overzicht van de verrichte werkzaamheden.  
Hieronder zullen de verschillende waarnemingen in meer detail worden besproken.

Tabel 2-1 Overzicht van de verrichte werkzaamheden

Parameter	Details	Jaren
Grondwaterstand	Elke locatie, 2 keer per maand	Vanaf 2011 elk jaar
Grondonderzoek		
Bemesting	Op de uitmijnbehandeling locaties 1 t/m 3 is drie keer en op de locaties 4 t/m 6 is twee keer per jaar bemest met N & K	
	Bovenste laag tot 10 cm-mv	2010, 2011, 2012, 2014
	Alle bodemlagen tot 60 cm-mv	2011, 2014
Gewasonderzoek	Op locaties 1 t/m 3 zijn drie snedes en op de locaties 4 t/m 6 zijn twee snedes per jaar geogst.	Elk jaar
Vegetatieonderzoek	Vanaf 2011 in proefplotjes	2011, 2012, 2014

### 2.3 Uitgevoerde bemesting en maairegime

Het aantal meststofgiften in de verschillende locaties binnen het gebied is afgestemd op het geplande maairegime voor de verschillende locaties (2-3x). In de uitmijnveldjes van de locaties 4-6 werd 2x een meststofgift toegepast en in die van de locaties 1-3 werd dat 3x gedaan. De achterliggende gedachte hierbij was dat de locaties 1-3 droog genoeg waren om 3x te maaien, maar dat 4-6 daarvoor te nat waren. In sommige jaren werd hierop een uitzondering gemaakt. Bijvoorbeeld in 2013 is op alle locaties 3 keer gemaaid. In dat jaar was op locatie 6 per ongeluk bij de eerste mestgift ook K toegediend aan de verschalingsbehandeling.

Details wat betreft bemesting staan in Tabel 2-2. In totaal is aan de locaties 1 t/m 3 300 kg N/ha/jr en 316 kg K/ha/jr toegediend en aan de locaties 4 t/m 6: 220 kg N/ha/jr en 233 kg K/ha/jr. De gebruikte stikstofmeststof is kalkammonsalpeter (27%), terwijl voor de kalibemesting twee verschillende meststoffen zijn gebruikt. De kali voor de eerste snede is toegediend met kornkali (40% K<sub>2</sub>O, 6% MgO, 12% SO<sub>3</sub>, 4% Na<sub>2</sub>O). Aangezien er op die manier ook een geringe hoeveelheid S wordt aangevoerd is voor de tweede en derde snede gebruik gemaakt van kaliumchloride 60 (60% K<sub>2</sub>O).

Organische mest is niet gebruikt omdat dit ook fosfaat bevat.

Tabel 2-2 Hoogte van de N- en K-gift per snede in de uitmijn-objecten.

Snede	locaties	N-bemesting		K-bemesting	
		N-gift, kg N/ha	meststof	K-gift, kg K <sub>2</sub> O/ha	meststof
1	1-6*	120	Kalkammonsalpeter	180	Kornkali
2	1-6	100	Kalkammonsalpeter	100	KCl-60
3	1-3	80	Kalkammonsalpeter	100	KCl-60

### 2.4 Gewasmonsters

Op de 6 proeflocaties van zowel de verschalings- als van de uitmijnbehandelingen zijn gewasmonsters genomen en geanalyseerd op opbrengst, nutriëntgehaltenes en voederwaarde na elk van de 2 of 3 snedes. Opbrengstbepalingen en gewasanalyses zijn bij elke snede verricht in de netto-veldjes (Figuur 2-1).

Daarbij is de gehele oogst van dit netto veldje gewogen. Daarna is een submonster genomen ter grootte van circa 1 kg, waarvan de samenstelling is bepaald. De monsters zijn geanalyseerd op een groot aantal parameters voor de voederwaarde (o.a. droge stof, VEM, DVE, OEB, ruw eiwit, structuurwaarde) en op

de minerale samenstelling (o.a. N, P, K, Mg, Na, Ca, S).

De resultaten van de versopbrengst per veldje, het drogestofgehalte en de gehalten aan mineralen/nutriënten in het gewas worden o.a. gebruikt voor de berekening van de onttrekking van nutriënten (vooral N, P en K) door het gewas.

## 2.5 Bodemmonsters

Op de 6 proeflocaties van zowel de verschralings- als van de uitmijnbehandelingen zijn grondmonsters genomen en geanalyseerd op fosfaattoestand, algemene bodemkenmerken en andere nutriënten. Elk jaar zijn grondmonsters genomen behalve in 2013. Tabel 2.2 geeft een overzicht van het grondonderzoek dat heeft plaatsgevonden.

Tabel 2.2 Overzicht van het grondonderzoek dat tot nu toe heeft plaatsgevonden. In 2013 is geen grondonderzoek uitgevoerd.

Jaar	Datum	Bemonsterde diepte (cm-mv)	Bemonsterde locaties	Analyses
2010	9 juli	0-10	1 t/m 6, 2 behandelingen	P-CaCl <sub>2</sub> , P-AL, P-ox, FVG, Al-ox, Fe-ox, pH, OS, CN, N, K, S, Mg, Na, CEC, bodemleven
2011	28 april	0-10, 10-30, 30-50	1 t/m 6, 2 behandelingen + 2 referenties	P-CaCl <sub>2</sub> , P-AL, P-ox, FVG, Al-ox, Fe-ox, pH, OS,
2012	28 maart	0-10	1 t/m 6, 2 behandelingen + 2 referenties	P-CaCl <sub>2</sub> , P-AL, P-ox, FVG, Al-ox, Fe-ox, pH, OS, K, Mg, Na, B, Cu, Mn, Co, Zn, Se
2014	14 oktober	0-10, 10-30, 30-60	1 t/m 6, 2 behandelingen	P-CaCl <sub>2</sub> , P-AL, P-ox, FVG, Al-ox, Fe-ox, pH, OS, lutum, N, K, CN, S, Mg
		0-10	1 t/m 6, 2 behandelingen	P-totaal

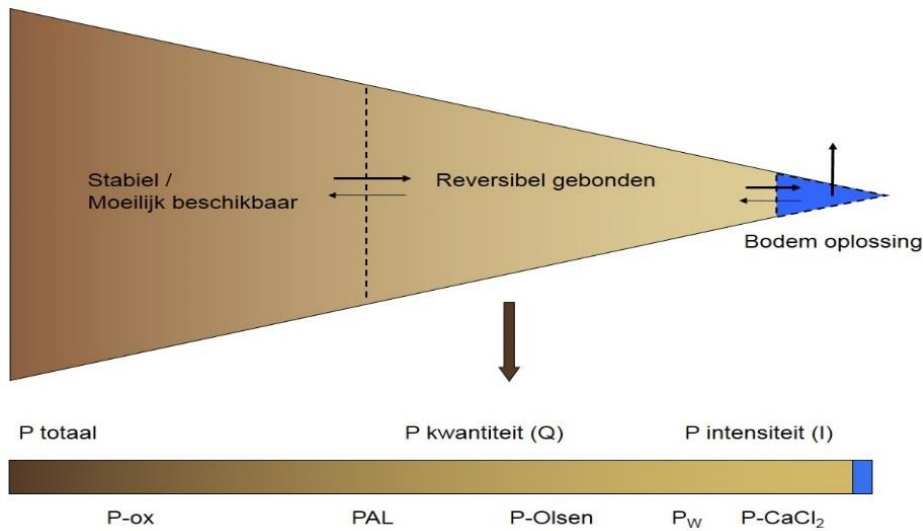
In de grondmonsters zijn de volgende parameters bepaald om de fosfaattoestand te karakteriseren:

- de directe fosfaatbeschikbaarheid (P-CaCl<sub>2</sub>, ofwel P geëxtraheerd met 0,01 M CaCl<sub>2</sub>). Hiermee wordt een P-fractie verkregen die goed vergelijkbaar is met de P-concentratie in het bodemvocht;
- het voor gras beschikbare fosfaat (P-AL, ofwel P geëxtraheerd met ammoniumlactaat azijnzuur) en
- de totale beschikbare fosfaat op langere termijn (P-ox, ofwel P geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuur),
- een maat voor hoe sterk de totaal beschikbare fosfaat gebonden zit in de bodem wat de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) wordt genoemd (gebaseerd op de molaire verhouding tussen P-ox en de omvang van het adsorptiecomplex voor P, gemeten als oxalaat-extraheerbaar Fe en Al (Fe-ox en Al-ox; in mmol per kg droge grond). In formule  $FVG = P-ox / (0,5 * (Fe-ox + Al-ox))$ ,
- de totale hoeveelheid fosfaat aanwezig in de bodem (P-totaal).

Zowel P-CaCl<sub>2</sub> als P-AL worden ook gebruikt voor het bepalen van de landbouwkundige fosfaattoestand. In onderzoek naar de ontwikkeling van natuur op voormalige landbouwpercelen worden deze aangevuld met de parameters FVG en de totale P reserves (benaderd door P-ox). De relatie tussen de uiteenlopende fosfaatparameters en de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem wordt in Figuur 2-2 schematisch toegelicht.

Bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden wordt de FVG en P-AL vaak gebruikt als maat voor de fosfaatbeschikbaarheid. De FVG wordt ook wel aangeduid met PSD of PSI. De effectiviteit van

uitmijning om de P-toestand te verlagen wordt niet alleen bepaald door de fosfaatbeschikbaarheid, maar ook door de totale P-reserves in de bodem. In dit onderzoek worden de P-reserves benaderd met P-ox.



Figuur 2-2 Schematische weergave van de verdeling van P-fracties in de bodem en de verhouding tot standaard meetmethodes (Van Rotterdam et al., 2014).

## 2.6 Inventarisatie vegetatie

Elk jaar zijn vegetatie-opnamen uitgevoerd. Vanaf 2011 zijn de opnamen steeds verricht in de proefplotjes, zodat ze konden worden gerelateerd aan de behandelingen (uitmijning en verschraling, al dan niet in combinatie met afgraven).

Er is steeds een schatting gemaakt van de mate waarin plantensoorten voorkomen. Daartoe is gewerkt met Tansley, een internationale codering die hiervoor gebruikelijk is. Daarbij gaat het om de onderlinge verhoudingen tussen de soorten en het is een relatieve schaal. Die komt tot uiting in de gebruikte afkortingen:

- s - zeer weinig
- r - zeldzaam
- o - plaatselijk
- f - frequent/ regelmatig
- a - algemeen / talrijk
- d - dominant

Wanneer de informatie op grotere oppervlaktes slaat, kan aan de genoemde afkortingen de toevoeging l gekoppeld worden (local). Zo krijgt een deel van een perceel waarin een soort plaatselijk algemeen is de code la, en een deel van een perceel waarin een soort plaatselijk dominant is ld.

## 2.7 Verloop grondwaterstand

In januari 2011 zijn bij alle 6 locaties grondwaterstandsbuizen geplaatst en vanaf dat moment is op elke locatie 2x per maand door SBB de grondwaterstand geregistreerd.

### 3 Resultaten proefvelden 2010 tot en met 2014: gewas

#### 3.1 Gewasopbrengst

De versopbrengsten die in de netto-veldjes zijn bepaald, vormen het startpunt van de opbrengst-bepalingen per snede. In combinatie met het drogestofgehalte zijn de drogestofopbrengsten berekend. De drogestofopbrengst is per jaar weergegeven in en Tabel 3-1 en Figuur 3-1. Het is duidelijk dat de opbrengsten veel hoger zijn wanneer N en K wordt bemest (uitmijnen) ten opzichte van de opbrengsten zonder mestgift (verschralen). Gemiddeld over de gehele proef is de totale opbrengst 2,1 keer zo hoog met N- en K-bemesting. Dit verschil is duidelijk gedurende de gehele proef aanwezig. Er lijkt echter wel een duidelijke afname in het verschil in drogestofopbrengst tussen verschralen en uitmijnen gedurende de proef. Aan het begin van de proef is het verschil in drogestofopbrengst tussen uitmijnen en verschralen groter dan aan het eind van de proef (Tabel 3-1).

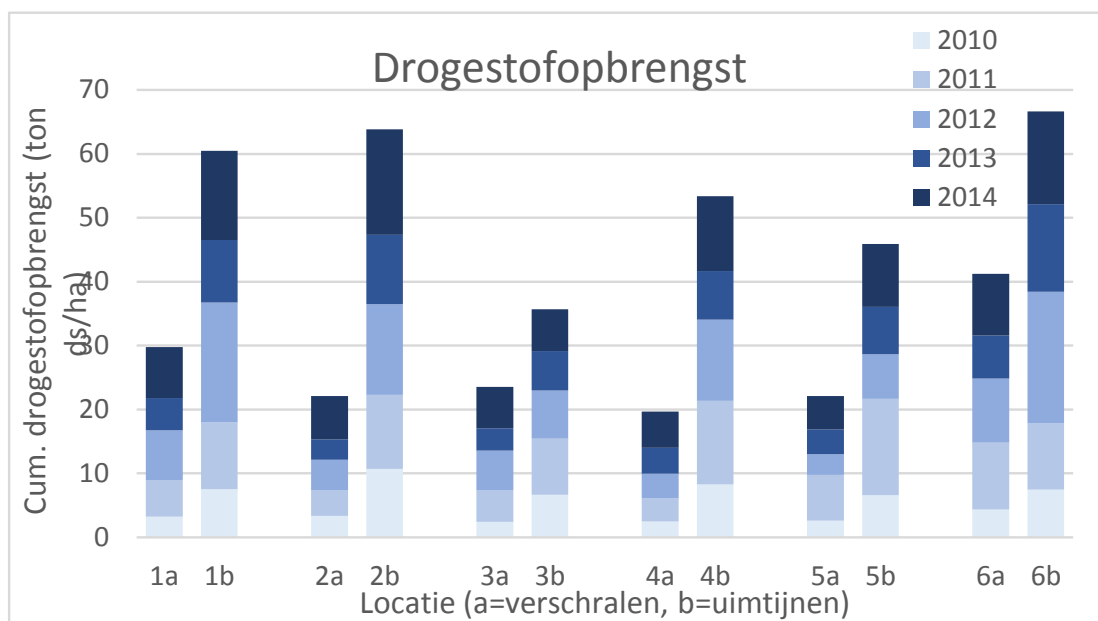
Er is een grote variatie tussen de locaties. Zonder bemesten in de verschralingsbehandeling is de cumulatieve opbrengst het laagst voor de locaties 2, 3, 4 en 5 (20-24 ton/ha) gevolgd door locatie 1 (30 ton/ha) en is de cumulatieve opbrengst het hoogst voor de natste locatie, locatie 6 (41 ton/ha). Met N- en K-bemesten is voor de uitmijnbehandeling de cumulatieve opbrengst duidelijk het laagst voor locatie 3 (36 ton/ha), gevolgd door de relatief natte locaties 4 en 5 (46-53 ton/ha), gevolgd door de locaties 1 en 2 (61-64 ton/ha) en is weer voor locatie 6 de cumulatieve opbrengst het hoogst (67 ton/ha).

Enige uitzondering is 2011 waar de opbrengst het hoogst was voor locatie 4 en 5 in plaats van voor locatie 6. De reden was dat in dat jaar locatie 6 als enige locatie slechts twee keer is gemaaid in plaats van drie keer. Daarnaast was 2011 een relatief nat jaar wat met name voor de nattere locaties 4 en 5 tot hogere opbrengsten leidde.

Voor zowel de verschralings- als de uitmijnbehandeling is de drogestofopbrengst het hoogst voor locatie 6. Ondanks dat in de uitmijnbehandeling van locatie 6 slechts twee snedes per jaar zijn geoogst en twee keer ipv drie keer is bemest. De locaties 1, 2 en 3 zijn wel drie keer bemest en zijn per jaar ook drie snedes geoogst. Naast bemesting spelen dus ook andere factoren een bepalende rol voor de hoogte van de drogestofopbrengst.

Tabel 3-1 Resultaten van de drogestofopbrengst (kg/ha, ds ) per jaar en totaal.

Proeflocatie	Behandeling	ds-opbrengst (ton ds/ha)					Totaal
		2010	2011	2012	2013	2014	
1a	verschalen	3.2	5.7	7.8	5.0	8.0	<b>29.8</b>
1b	uitmijnen	7.5	10.5	18.7	9.8	13.9	<b>60.5</b>
2a	verschalen	3.4	4.1	4.7	3.2	6.8	<b>22.1</b>
2b	uitmijnen	10.7	11.6	14.3	10.8	16.5	<b>63.9</b>
3a	verschalen	2.4	5.0	6.2	3.5	6.5	<b>23.6</b>
3b	uitmijnen	6.7	8.8	7.5	6.2	6.6	<b>35.7</b>
4a	verschalen	2.4	3.7	3.8	4.1	5.6	<b>19.7</b>
4b	uitmijnen	8.2	13.1	12.7	7.6	11.7	<b>53.4</b>
5a	verschalen	2.6	7.1	3.3	3.9	5.2	<b>22.1</b>
5b	uitmijnen	6.6	15.1	7.0	7.4	9.9	<b>45.9</b>
6a	verschalen	4.3	10.5	10.0	6.8	9.6	<b>41.2</b>
6b	uitmijnen	7.5	10.4	20.5	13.7	14.5	<b>66.6</b>
Gem. verhouding verschralen / uitmijnen		2.6	2.2	2.4	2.2	1.8	<b>2.1</b>



Figuur 3-1 Cumulatieve drogestofopbrengst gras, totaal per jaar voor de 6 proeflocaties uitgesplitst naar de twee behandelingen verschalen en uitmijnen.

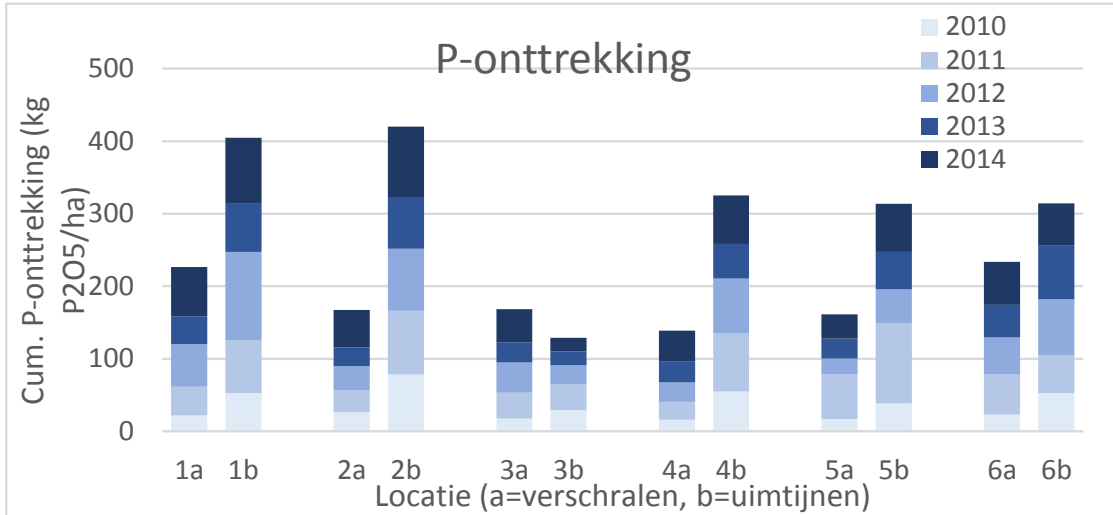
### 3.2 P-onttrekking gewas

De P-onttrekking is berekend op basis van de drogestofopbrengsten en het gemeten P-gehalte in het gewas. De P-onttrekking is weergegeven in Tabel 3-2 en Figuur 3-2. Voor zowel de verschalings- als de uitmijnbehandeling is er een grote variatie in P-onttrekking tussen jaren en tussen behandelingen. Gemiddeld genomen is de P-onttrekking hoger bij uitmijnen dan bij verschalen. Uitzondering wordt gevormd door locatie 3. Op locatie 3 is de drogestofopbrengst in de uitmijnbehandeling wel hoger, maar de P-onttrekking lager is dan in verschalingsbehandeling. De oorzaak hiervoor wordt gezocht in de zeer lage P-toestand van de bodem in de uitmijnbehandeling (zie volgende hoofdstuk).

Tabel 3-2 Resultaten van P onttrekking (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) per proeflocatie en behandeling per jaar.

Locatie	Behandeling	P-opname (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)					Totaal
		2010	2011	2012	2013	2014	
1a	verschalen	22	40	59	39	68	<b>226</b>
1b	uitmijnen	53	72	122	67	91	<b>405</b>
2a	verschalen	26	30	33	26	52	<b>167</b>
2b	uitmijnen	79	88	85	71	98	<b>420</b>
3a	verschalen	18	36	41	27	46	<b>168</b>
3b	uitmijnen	29	36	26	19	19	<b>129</b>
4a	verschalen	16	25	27	29	43	<b>139</b>
4b	uitmijnen	55	80	75	47	67	<b>325</b>
5a	verschalen	17	62	21	27	33	<b>161</b>
5b	uitmijnen	38	111	47	52	66	<b>314</b>
6a	verschalen	23	56	50	45	59	<b>233</b>
6b	uitmijnen	53	52	77	75	58	<b>314</b>
Gem. verhouding verschalen / uitmijnen*		2.7	2.1	2.2	1.9	1.6	<b>2.0</b>

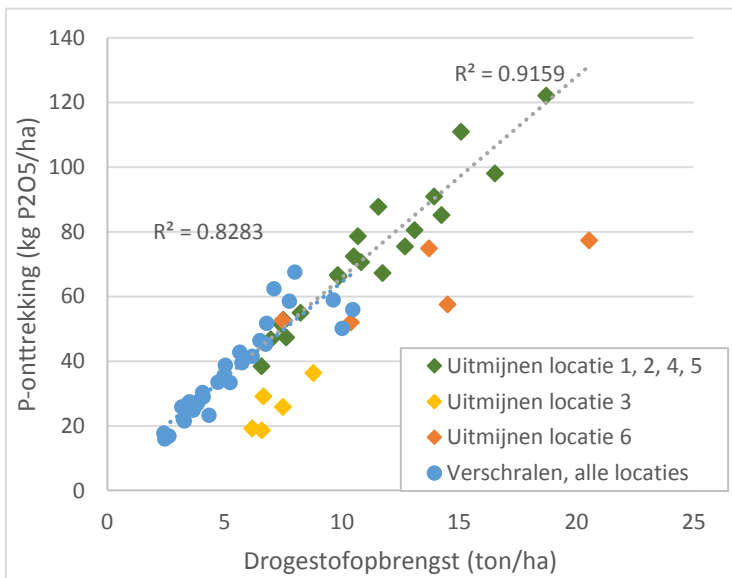
\* Locatie 3 wordt niet meegenomen bij deze berekening.



Figuur 3-2 Totale en jaarlijkse P-onttrekking voor de 6 proeflocaties uitgesplitst naar de twee behandelingen verschralen en uitmijnen.

Gemiddeld over alle jaren is de cumulatieve P opname 2,0 keer hoger bij uitmijnen dan bij verschralen (locatie 3 is hierin niet meegenomen). De gemiddelde P-onttrekking bij verschralen is 37 +/- 15 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en bij uitmijnen 71 +/- 21 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Bij uitmijnen is de P-onttrekking wat lager vergeleken met een hoog productief grasland dat volledig is bemest. Uit onderzoek van de WUR blijkt dat de landelijk gemiddelde P-onttrekking op grasland 95 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha P bedraagt (Ehlert et al., 2009).

Er is sprake van een vrij goede correlatie tussen P-onttrekking en drogestofopbrengst (Figuur 3-3). Duidelijk is dat in de verschralingsbehandeling P-onttrekking lineair gerelateerd is aan drogestofopbrengst. Dit lineaire verband is ook door te trekken naar de uitmijnbehandelingen met uitzondering van locatie 3 en 6. Voor locatie 3 en 6 is de P-onttrekking lager is dan verwacht mag worden op basis van de drogestofopbrengst, dit duidt erop dat de P-toestand van de bodem limiterend is voor de P-opname.



Figuur 3-3. Relatie tussen P onttrekking en drogestofopbrengst voor de jaren 2010 tot en met 2014.



### 3.3 *Stikstof- en kalibalans gewas*

Jaarlijks is een N- en K-balans opgesteld op basis van de N- en K-bemesting en de N- en K-afvoer met het gemaaid gras (Tabel 3-3 en

Tabel 3-4).

In de verschalingsbehandeling is de netto cumulatieve balans uiteraard negatief omdat niet is bemest. Voor de verschalingsbehandeling is de mate waarin de N- en K-balans negatief is direct gerelateerd aan de drogestofopbrengst van de verschillende locaties. Met N- en K bemesting neemt de drogestofopbrengst sterk (een factor 2, Tabel 3-1) toe waardoor ook de N- en K onttrekking sterk toenemen ten opzichte van verschralen (geen bemesting). Bij uitmijnen is afhankelijk van de locatie, zowel de cumulatieve N-balans als de cumulatieve K-balans licht positief dan wel licht negatief. Op de locaties 1, 2, 4 en 5 is de N- en K-onttrekking nagenoeg in balans met de N- en K-gift. Een uitzondering is locatie 3 waar de N- en K-balansen sterk positief zijn. Op locatie 3 blijft de opbrengst achter op de potentiële opbrengst op basis van de N- en K bemesting wat leidt tot een hoog N- en K-overschot. De zeer positieve N- en K-balansen duiden evenals de lage P-gehalten in het gewas op een situatie waarin P-beschikbaarheid in de bodem limiterend is voor de gewasgroei. De N- en K-giften leiden in dat geval niet of nauwelijks tot een hogere opbrengst en N- en K-onttrekking. Uitmijning lijkt onder dergelijke omstandigheden (P-AL 5 → 3) dan ook niet of nauwelijks zinvol. Als in een dergelijke situatie toch wordt uitgemijnd, dient de N- en K-gift te worden verlaagd.

Op locatie 6 is net als bij de verschalingsbehandeling, ook bij de uitmijnbehandeling sprake van een netto onttrekking van N en K. Op deze locatie was de bemesting lager dan de onttrekking, vooral in 2012 en 2013 (voor N) en in 2013 en 2014 (voor K). Jaarlijks werd op deze locatie slechts twee keer bemest omdat ook slechts twee keer per jaar is geoogst. Desalniettemin was de drogestofopbrengst in vergelijking met de andere locaties het hoogst.

Tabel 3-3. N-gift, N-onttrekking en N-balans per locatie en behandeling in 2010 tot en met 2014.

Locatie	Behandeling	N-gift kg N/ha/jr	N-onttrekking (kg N/ha)					Cum N- balans 2010- 2014
			2010	2011	2012	2013	2014	
1a	verschalen	0	52	100	147	106	161	-566
1b	uitmijnen	300	176	270	401	271	304	79
2a	verschalen	0	56	75	85	66	130	-413
2b	uitmijnen	300	272	316	325	316	338	-67
3a	verschalen	0	47	114	122	72	108	-462
3b	uitmijnen	300	132	211	147	174	127	710
4a	verschalen	0	43	95	85	94	129	-446
4b	uitmijnen	220	222	298	251	236	227	-134
5a	verschalen	0	47	179	73	78	103	-480
5b	uitmijnen	220	166	438	149	215	194	-61
6a	verschalen	0	75	194	137	133	194	-733
6b	uitmijnen	220	173	202	272	375	205	-167
Gem. verhouding verschalen / uitmijnen			3.7	2.6	2.5	3.0	1.7	

Tabel 3-4. K-gift, K-opname en K-balans per locatie en behandeling in 2010 tot en met 2014.

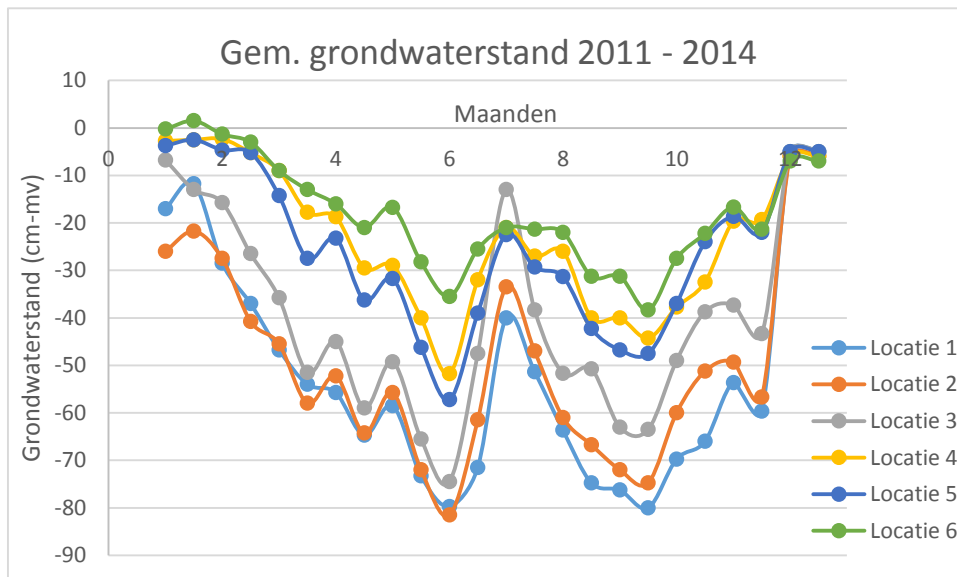
Locatie	Behandeling	K-gift	K-onttrekking (kg K/ha)				Cum K-balans 2010-2014
		kg K/ha/jr	2010	2012	2013	2014	
1a	verschalen	0	46	71	45	49	-211
1b	uitmijnen	317	179	425	302	341	20
2a	verschalen	0	72	56	28	44	-201
2b	uitmijnen	317	310	351	359	336	-88
3a	verschalen	0	46	66	34	47	-194
3b	uitmijnen	317	217	185	191	162	513
4a	verschalen	0	24	28	34	27	-114
4b	uitmijnen	233	193	263	260	230	-13
5a	verschalen	0	18	21	35	31	-105
5b	uitmijnen	233	128	183	245	252	124
6a	verschalen	0	79	108	94	101	-232
6b	uitmijnen	233	241	222	393	311	-234
Gem. verhouding verschalen / uitmijnen			5.2	5.8	7.3	6.3	

## 4 Resultaten proefvelden 2010 tot en met 2014: bodem

### 4.1 Grondwaterstand

De resultaten van de gemiddelde grondwaterstand over de jaren 2011 tot en met 2014 zijn weergegeven in Figuur 4-1. Uit de resultaten blijkt dat er op alle locaties sprake is van een aanzienlijk seizoensverloop, waarbij de grondwaterstand langzaam daalt richting de zomer en in de herfst weer toeneemt. In juli was er zowel in 2011 als in 2012 een natte piek in juli waardoor op alle locaties de grondwaterspiegel steeg. Over de hele periode is de grondwaterstand van locatie 6 vrijwel steeds het hoogst (regelmatig water tot aan maaiveld) en zijn de locaties 1, 2 en 3 het droogst. Het verloop in gemiddelde grondwaterstand verloopt op locatie 1 ongeveer gelijk aan locatie 2. Op de locaties 4 en 5 fluctueert de grondwaterstand tussen die van de natte (locatie 6) en de droge locaties (1, 2 en 3).

Het verloop van de grondwaterstand heeft consequenties voor de haalbaarheid van vegetatietypen. De grondwaterstand op de meeste locaties zakt te ver weg voor dotterbloemhooiland. Alleen op locatie 6 lijkt dat haalbaar. Op de overige locaties zal bloemrijk grasland of kamgraswijde potentieel kunnen worden gevormd.



Figuur 4-1 Verloop van de gemiddelde grondwaterstand (in cm – maaiveld) van de 6 proeflocaties in 2011 tot en met 2014.

### 4.2 Algemene bodemkenmerken

De hieronder besproken algemene bodemkenmerken zijn weergegeven in Tabel 4-1. Alle locaties behalve locatie 4 zijn dekzand gronden. Locatie 4 is veengrond. Voor alle proeflocaties is de pH lager dan 5,5. Voor locatie 1, 2 en 5 is de pH ~ 4,5; voor locatie 3, 6 is de pH ~ 5. Voor locatie 4 is de pH het laagst (~ 4). Gedurende de 5-jarige proef blijft de pH nagenoeg onveranderd. Op locatie 6 lijkt sprake te zijn van een licht stijgende trend in de pH van pH 5 naar 5,5.

Zoals te verwachten is van een veengrond is het OS-gehalte van locatie 4, over de bodemlaag 0-50 cm-mv zeer hoog (+/- 40-60%). Locatie 3 heeft de laagste OS-gehalte (0,5 – 7,5%), wat het gevolg is van het afgraven van de bovengrond in deze locatie. Opvallend is dat op deze locatie het OS-gehalte bij

verschralen hoger (bovenste 0-10 cm 6,2 – 8,9%) is dan bij uitmijnen (2,4 – 4,7%). Voor beide behandelingen op locatie 3 neemt het OS-gehalte sterk af onder de eerste 10 cm-mv. Locatie 1, 2, 5, en 6 hebben een OS-gehalte van +/-10%. Voor locatie 1 en 2 is het OS-gehalte met name in de 30-50 cm laag, lager dan in de lagen daarboven. Voor locatie 2 en 5 is er weer een duidelijk verschil tussen de behandelingen: voor beide locaties is het OS-gehalte hoger bij de uitmijnplotjes dan bij de verschralingsplotjes.

Tabel 4-1 Weergave van de algemene bodemparameters pH, organischestofgehalte, N-levering en P-adsorptiemaximum (Qmax) berekend op basis van (Fe+Al)-ox per locatie van de laag 0-10cm-mv en uitgesplitst naar de behandeling verschralen (Verschr.) en uitmijnen (Uitm.) voor de jaren 2010, 2011, 2012 en 2014.

Locatie	Jaar	pH		OS-gehalte		N-Levering		Qmax	
		Verschr.	Uitm.	Verschr.	Uitm.	Verschr.	Uitm.	Verschr.	Uitm.
1	2010	4,4	4,4	12	14	157	157	52	52
1	2011	4,4	4,4	9	9	42	31	50	42
1	2012	4,6	4,4	12	11			61	61
1	2014	4,5	4,6	9	9	111	114	53	61
2	2010	4,5	4,6	11	21	196	207	89	155
2	2011	4,7	4,8	9	14	46	30	78	117
2	2012	4,6	5	13	17			121	143
2	2014	4,5	4,6	10	14	169	197	106	160
3	2010	4,8	4,9	6	3	121	96	53	23
3	2011	4,9	5	7	2	28	9	45	22
3	2012	4,8	5,1	8	5			53	27
3	2014	4,7	4,9	9	4	110	74	47	22
4	2010	3,7	3,9	51	56	230	230	516	488
4	2011	3,8	4	56	52	162	147	429	405
4	2012	4,1	4,2	58	49			493	468
4	2014	4	3,8	50	50	250	250	546	517
5	2010	4,4	4,4	15	23	199	230	31	42
5	2011	4,5	4,5	11	14	70	55	35	44
5	2012	4,5	4,5	8	13			32	45
5	2014	4,6	4,6	9	9	150	178	36	55
6	2010	5,1	5,1	11	14	187	193	51	52
6	2011	5,2	5,3	8	12	34	37	51	66
6	2012	5,4	5,2	14	17			92	91
6	2014	5,5	5,5	10	13	152	195	110	63

Voor gras is de N-beschikbaarheid de meest bepalende factor voor de opbrengst. Deze is in 2010, 2011 en 2014 gemeten en niet in 2012. De waarden voor de N-levering (afgeleid van N-totaalbepaling) zijn voor 2011 veel lager dan voor 2010 en 2014. Dit is vreemd en de reden daarvoor is onduidelijk.

Meest opvallend is dat voor locatie 3, in overeenstemming met de hogere OS-gehaltes, ook de N-levering in het object met verschraling hoger is dan bij uitmijning. Aangezien dit bij aanvang van de proef in 2010 al het geval is, is dit niet het gevolg van de behandelingen, maar was dit het gevolg van een verschil in uitgangssituatie. Voor locatie 2 en 5 is in 2010 en 2014, in overeenstemming met de lagere OS-gehaltes, ook de N-levering iets lager bij verschralen dan bij uitmijnen. In 2011 is dit effect voor locatie 2 en 5 niet gevonden. Voor locatie 5 daalt het organischestofgehalte tussen 2010 en 2014.

Om de P-beschikbaarheid beter te kunnen duiden is naast pH en OS, ook het minerale oppervlak in de vorm van Fe- en Al(hydr-)oxides van belang. Het maximale adsorptieoppervlak (Qmax) is berekend door

Fe-ox op te tellen bij Al-ox en de som te delen door 2. Voor locatie 4 is  $Q_{max}$  zeer hoog (400 – 500 mmol/kg). Dit wordt echter vertroebeld door het hoge OS-gehalte, dat de Fe-ox meting positief kan hebben beïnvloed. McKeague et al., (1971) laten zien dat om een goede inschatting te maken van de aanwezigheid van Fe-oxides, oxalaat extraheerbaar Fe moet worden gecorrigeerd voor organisch gebonden Fe. Dit geldt ook voor Al. De som van Fe en Al gemeten in een oxalaat extractie lijkt in veengronden dus geen goede basis om het adsorptieoppervak voor P te bepalen.

Wanneer de minerale gronden met elkaar worden vergeleken heeft locatie 2 de hoogste  $Q_{max}$  (121+/-30 mmol/kg) en locatie 3 en 5 de laagste  $Q_{max}$  (37+/-15 mmol/kg). Voor locatie 3 is  $Q_{max}$  voor de verschrallingsbehandeling (49+/-4) hoger dan de uitmijnbehandeling (23+/-2). Voor locatie 2 en 5 geldt weer een (iets) lagere  $Q_{max}$  bij de verschrallingsbehandeling vergeleken met de uitmijn behandeling.

Resumerend is locatie 4 als enige een veengrond. Naast een hoog OS-gehalte heeft deze locatie een daaraan gekoppelde lage pH.  $Q_{max}$  is op deze grond moeilijk in te schatten omdat (Fe+Al)ox ook organisch Fe en Al extraheert.

Van de minerale gronden heeft locatie 3 het laagste OS-gehalte, de laagste N-levering en de laagste  $Q_{max}$ , wat kan worden verklaard doordat de bovengrond op deze locatie is afgegraven. Opvallend voor deze locatie is het verschil tussen de behandelingen. Zowel OS-gehalte, N-leveringen en  $Q_{max}$  zijn in het object met verschralling hoger dan bij uitmijning, maar dit was bij aanvang van de proef al het geval en is dus niet het gevolg van de behandeling.

Wat betreft OS-gehalte zijn locatie 1, 2, 5 en 6 gemiddeld genomen erg vergelijkbaar (OS-gehalte 13+/-4%). Locatie 1 en 6 hebben daarnaast een vergelijkbare  $Q_{max}$  (63+/-19 mmol/kg). Locatie 2 heeft wat betreft de minerale locaties de hoogste  $Q_{max}$ , en locatie 5 (samen met locatie 3) de laagste. De locaties 2 en 5 hebben gemeen dat zowel OS-gehalte,  $Q_{max}$ , als N-levering lager is in de verschrallingsbehandeling vergeleken met de uitmijnbehandeling.

#### 4.3 Fosfaattoestand

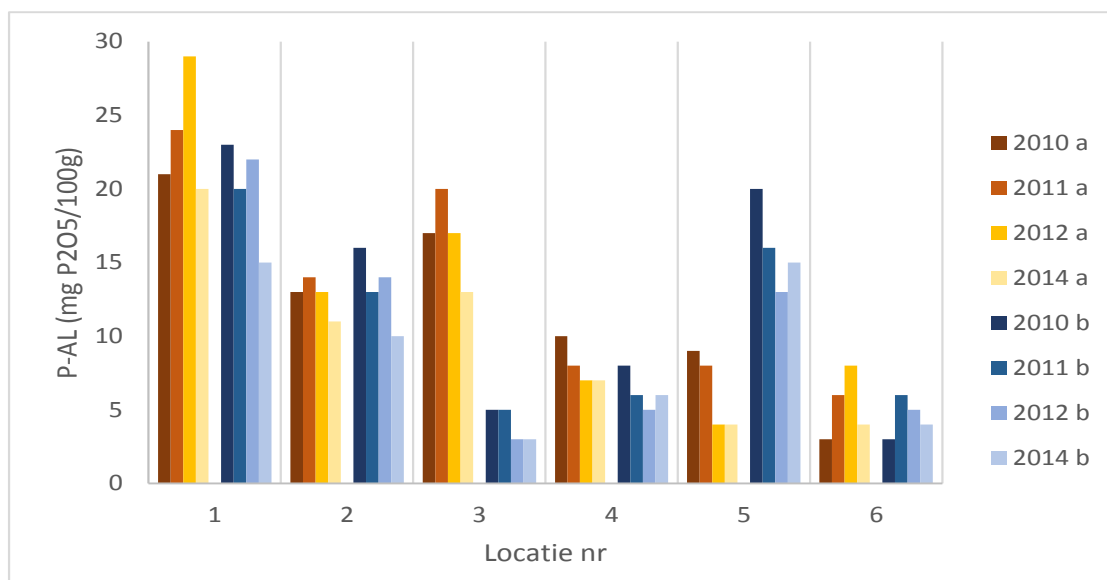
Wat betreft de landbouwkundige classificering is de fosfaattoestand als laag tot zeer laag te waarderen. De landbouwkundige classificering is gebaseerd op de combinatie P-CaCl<sub>2</sub> en P-AL. P-CaCl<sub>2</sub> is een maat voor de direct beschikbare P en deze is voor alle locaties en beide behandelingen erg laag. Alleen in 2010 werd op de locaties 1 en 5 een meetbare hoeveelheid direct beschikbaar P gemeten. Daarna is voor alle locaties en alle behandelingen P-CaCl<sub>2</sub> te laag om te meten.

P-AL is een maat voor de P kwantiteit. Deze vertoont variatie tussen de locaties, tussen de behandelingen (Tabel 4-2 en Figuur 4-2), en ook tussen de verschillende dieptes (Figuur 4-3). Wanneer de eerste 10 cm-mv van de verschillende locaties worden vergeleken is de P-AL het hoogst op locatie 1 en het laagst op locatie 4 en 6 (Figuur 4-2). Voor locatie 2 is P-AL intermediair tussen locatie 1 en 6. Voor locatie 3 en 5 is er een aanzienlijk verschil tussen de twee behandelingen. Voor locatie 3 is P-AL bij verschrallen hoger dan bij uitmijnen. In de uitmijnbehandeling is P-AL even laag als in locatie 6. Voor locatie 5 is het net andersom: bij uitmijnen is P-AL hoger dan bij verschrallen. Hiermee volgt P-AL de verschillen die zichtbaar waren voor de algemene bodemeigenschappen. Voor locatie 3 was zowel het OS-gehalte als het adsorptieoppervlak groter bij verschrallen dan bij uitmijnen. Deze grotere bindingscapaciteit voor P resulteert dus in een hogere P-AL. Voor locatie 5 was het net andersom. Hier was zowel het OS-gehalte als het adsorptiemaximum lager bij verschrallen dan bij uitmijnen. Hier resulteert een lagere bindingscapaciteit dus ook in een lagere P-AL.

De voor het gewas beschikbare P, zoals benaderd met P-AL is voor de locaties 4, 6 en de uitmijnbehandeling van locatie 3 erg laag (P-AL < 10 en soms < 5).

Tabel 4-2 Weergave van de fosfaattoestand per locatie van de laag 0-10 cm-mv en uitgesplitst naar de behandeling verschralen (A) en uitmijnen (B) voor de jaren 2010, 2011, 2012 en 2014. Voor de ratio P-ox over P-AL is P-AL eerst omgerekend naar mmol/kg.

Locatie	Jaar	P-CaCl <sub>2</sub> (mg/kg)		P-AL (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g)		P-ox (mmol/kg)		P-ox/P-AL (-)		FVG (%)	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	2010	0.6	0.6	21	23	11	11	3.7	3.4	21	21
1	2011	0.2	0.2	24	20	9	8	2.7	2.8	18	19
1	2012	0.4	0.2	29	22	12	12	2.9	3.9	20	20
1	2014	0.3	0.3	20	15	10	9	3.5	4.3	19	15
2	2010	0.3	0.2	13	16	13	21	7.1	9.3	15	14
2	2011	0.3	0.2	14	13	11	15	5.6	8.2	14	13
2	2012	0.2	0.2	13	14	16	19	8.7	9.6	13	13
2	2014	0.2	0.2	11	10	14	20	9.0	14.2	13	13
3	2010	0.3	0.2	17	5	11	3	4.6	4.3	21	13
3	2011	0.2	0.2	20	5	9	2	3.2	2.8	20	9
3	2012	0.2	0.2	17	3	10	3	4.2	7.1	19	11
3	2014	0.2	0.2	13	3	8	2	4.4	4.7	17	9
4	2010	0.2	0.2	10	8	56	46	40	41	11	9
4	2011	0.2	0.2	8	6	42	34	37	40	10	8
4	2012	0.2	0.2	7	5	54	40	55	57	11	9
4	2014	0.2	0.2	7	6	48	49	49	58	9	9
5	2010	0.7	0.9	9	20	4	8	3.2	2.8	13	19
5	2011	0.2	0.2	8	16	4	7	3.5	3.1	11	16
5	2012	0.2	0.2	4	13	4	8	7.1	4.4	13	18
5	2014	0.2	0.4	4	15	4	8	7.1	3.8	11	15
6	2010	0.2	0.2	3	3	4	4	9.5	9.5	8	8
6	2011	0.2	0.2	6	6	4	5	4.7	5.9	8	8
6	2012	0.2	0.2	8	5	8	6	7.1	8.5	9	7
6	2014	0.2	0.2	4	4	8	4	14.2	7.1	7	6

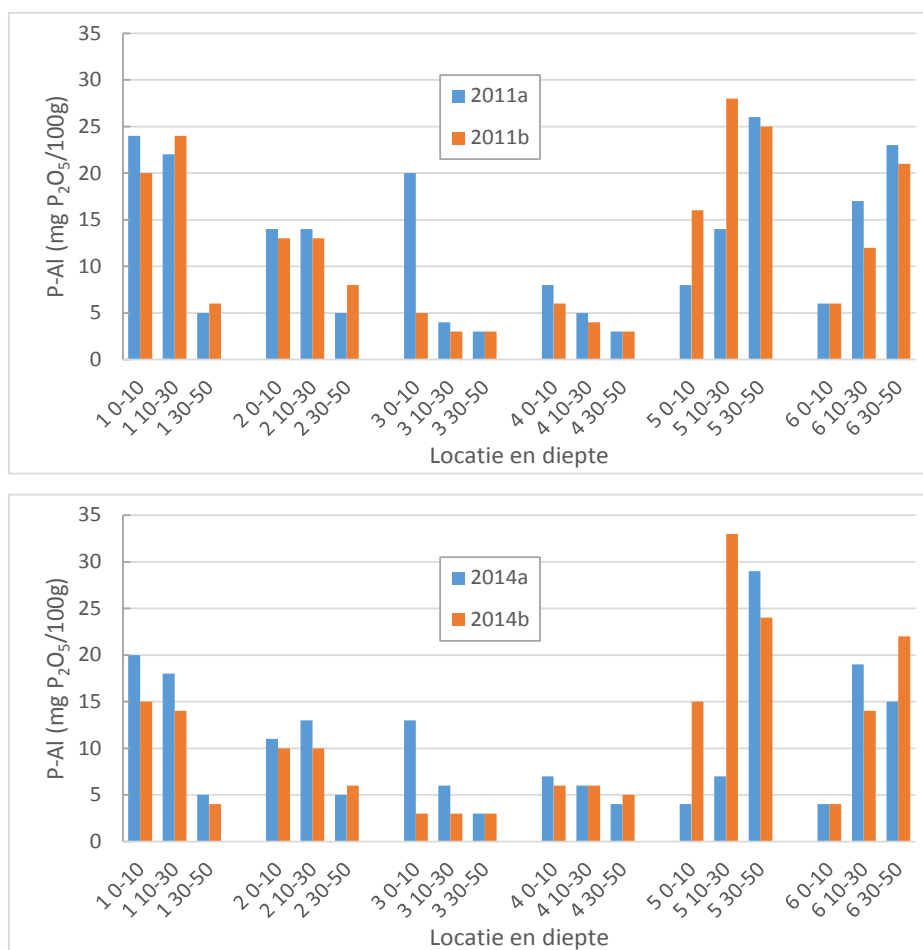


Figuur 4-2. Verandering in P-AL ( mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g) over de jaren 2010 tot en met 2014 (2013 is niet gemeten) voor de 6 locaties uitgesplitst naar de behandeling verschralen (a) en uitmijnen (b).

Over de jaren is een duidelijke afname in P-AL te zien voor alle locaties en bij zowel verschralen als bij uitmijnen, met als uitzondering locatie 6 en de verschralingsbehandeling van locatie 1 (1a). Voor locatie 1a en 6 neemt P-AL het eerste (twee) jaar toe in plaats van af. Opvallend is dat ondanks dat bij uitmijnen twee keer zoveel P wordt onttrokken dan bij verschralen dit niet leidt tot een twee keer zo groot verschil

in de verandering van P-AL over de tijd tussen verschrallen en uitmijnen. Wel is bij locatie 1 en 2 de daling in P-AL bij uitmijnen groter dan bij verschrallen. Voor locatie 4 en 6, waar P-AL al relatief laag is, is er geen verschil zichtbaar in de verandering in P-AL tussen verschrallen en uitmijnen. Voor de locaties 3 en 5 is het verschil in P-AL in de uitgangssituatie zo groot dat het effect van uitmijnen en verschrallen niet goed kan worden vergeleken.

Een ander belangrijk aspect bij uitmijnen is de fosfaattoestand in het bodemprofiel. Dit is gemeten in 2011 en 2014 (Figuur 4-3). Hoewel voor locatie 1 en 2 de toestand voor de laag 10-30 cm-mv vergelijkbaar is met de toplaag (0-10 cm-mv), neemt voor locatie 1 tot en met 4 de voor het gewas beschikbare hoeveelheid P (P-AL) af met de diepte. Voor locatie 5 en 6 is dit echter niet het geval. Voor deze locaties neemt de fosfaattoestand met de diepte toe over de eerste 50 cm. Oxidatie-reductieprocessen zouden hier een rol bij kunnen spelen. Dit is met name bij locatie 6 het geval waar de grondwaterspiegel erg hoog staat. Maar ook locatie 5 heeft een relatief hoog grondwaterpeil. Onder reducerende omstandigheden die ontstaan wanneer het grondwaterpeil hoog is, kunnen Fe-(hydr-)oxides in oplossing gaan. De daaraan gebonden P komt op dat moment ook vrij en kan naar beneden getransporteerd worden in het bodemprofiel waar het adsorbeert aan de aanwezige Fe- en Al (hydr-)oxides. Wanneer het grondwaterpeil zakt (bijvoorbeeld in de zomer) oxideert het ijzer weer en slaat het neer als Fe-(hydr-)oxide. P adsorbeert weer aan het oppervlak. Voor uitmijnen heeft dit effect omdat door de capillaire werking in de bodem de P in de diepere lagen de P in de bouwvoor mogelijk kan bufferen en dus beschikbaar komt voor het gewas. Uitmijnen dan wel verschrallen gaat dan langzamer als verwacht.



Figuur 4-3 Beschikbaar fosfaat (P-AL) in de bodemlagen 0-10, 10-30 en 30-50 cm-mv gemeten in 2011 (bovenste figuur, a=verschrallen, b=uitmijnen) en 2014 (onderste figuur).

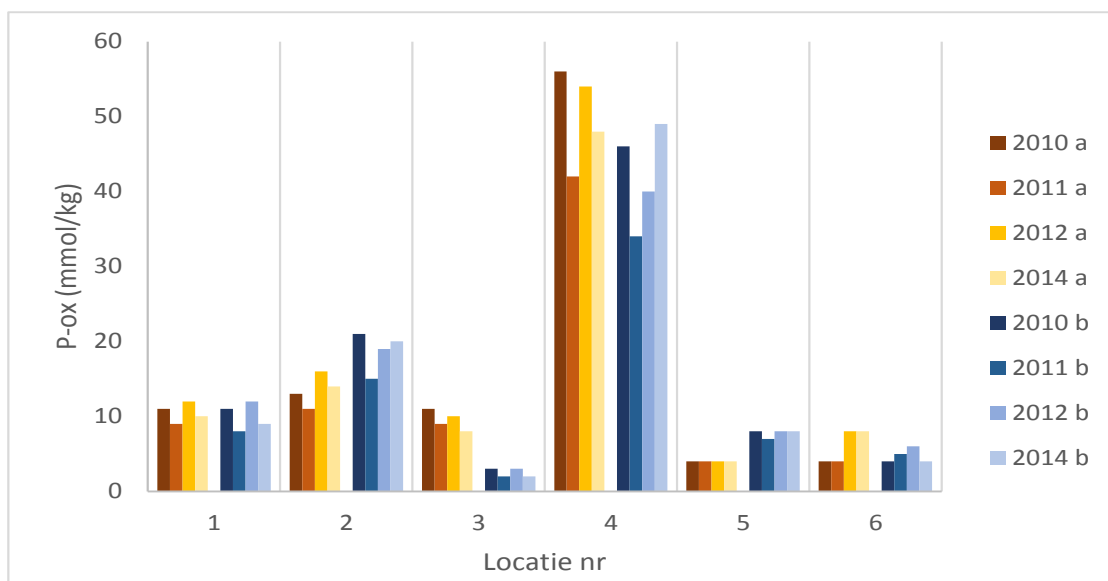


De daling van P-AL op locatie 1 en 2 gedurende de proef is niet alleen duidelijk voor de eerste 10 cm maar ook voor de bodemlaag 10 tot 20 cm-mv. Voor locatie 2 lijkt zelfs de laag 30-50 cm-mv licht te zijn afgenomen tussen 2011 en 2014. Voor locatie 3 is P-AL op alle dieptes erg laag behalve in de eerste 10 cm van de verschrallingsbehandeling. In deze bodemlaag is P-AL ook duidelijk afgenomen. De veranderingen in P-AL in de verschillende bodemlagen van locatie 4 zijn klein, zowel bij verschrallen als bij uitmijnen. Op locatie 4 is P-AL in de uitgangssituatie ook al laag in alle bodemlagen. De relatief kleine verandering in P-AL in de verschillende bodemlagen op de locaties 5 en 6 kunnen worden verklaard door de buffering van P dat beschikbaar is in de diepere bodemlagen (10 - 50 cm-mv).

De verschillen en trends die zichtbaar zijn voor P-AL zijn vergelijkbaar voor de FVG. P-AL en FVG zijn duidelijk aan elkaar gerelateerd voor de locaties in dit gebied.

Op de locaties waar P-AL in de uitgangssituatie relatief hoog is (locaties 1, 2, 3 verschrallen en 5 uitmijnen), neemt deze gedurende de proef af. Waar een vergelijking mogelijk is (locatie 1 en 2) is de afname sterker bij uitmijnen dan bij verschrallen. Waar P-AL relatief laag is (locatie 3 uitmijnen, 4 en 6) neemt P-AL maar in geringe(re) mate af. P dat ook in diepere lagen van het bodemprofiel is geaccumuleerd levert ook een bijdrage aan de totale beschikbaarheid, met name waar de grondwaterstand hoog (geregeld tot aan het maaiveld) is.

De veranderingen als gevolg van P-onttrekking, zowel bij verschrallen als bij uitmijnen die zichtbaar zijn voor P-AL en FVG zijn minder / niet zichtbaar voor totaal beschikbaar P, zoals benaderd met P-ox (Figuur 4-4). Waar P-AL afneemt gedurende de proef lijkt P-ox niet significant te veranderen over de tijd.



Figuur 4-4 Verandering in P-ox ( mmol/kg) over de jaren 2010 tot en met 2014 (2013 is niet gemeten) voor de 6 locaties uitgesplitst naar de behandeling verschrallen (a) en uitmijnen (b).

Locatie 4 heeft een relatief lage P-AL. Daarentegen is P-ox erg hoog (~40 mmol/kg, Wanneer de eerste 10 cm-mv van de verschillende locaties worden vergeleken is de P-AL het hoogst op locatie 1 en het laagst op locatie 4 en 6 (Figuur 4-2). Voor locatie 2 is P-AL intermediair tussen locatie 1 en 6. Voor locatie 3 en 5 is er een aanzienlijk verschil tussen de twee behandelingen. Voor locatie 3 is P-AL bij verschrallen hoger dan bij uitmijnen. In de uitmijnbehandeling is P-AL even laag als in locatie 6. Voor locatie 5 is het net andersom: bij uitmijnen is P-AL hoger dan bij verschrallen. Hiermee volgt P-AL de verschillen die zichtbaar waren voor de algemene bodemeigenschappen. Voor locatie 3 was zowel het OS-gehalte als het adsorptieoppervlak groter bij verschrallen dan bij uitmijnen. Deze grotere

bindingscapaciteit voor P resulteert dus in een hogere P-AL. Voor locatie 5 was het net andersom. Hier was zowel het OS-gehalte als het adsorptiemaximum lager bij verschralen dan bij uitmijnen. Hier resulteert een lagere bindingscapaciteit dus ook in een lagere P-AL.

De voor het gewas beschikbare P, zoals benaderd met P-AL is voor de locaties 4, 6 en de uitmijnbehandeling van locatie 3 erg laag ( $P\text{-AL} < 10$  en soms  $< 5$ ).

Tabel 4-2, Figuur 4-4). De hoge P-ox is gekoppeld aan een hoog organischestofgehalte en een heel hoog sorptie maximum voor P berekend op basis van (Fe+Al)-ox. De lage P-AL ten opzichte van P-ox is een indicatie van de slechte beschikbaarheid van de gemeten P-ox. Een mogelijke verklaring is dat, net als voor Fe en Al, een artefact ontstaat in de ammonium oxalaat extractiemethode door het hoge organischestofgehalte in veengronden waardoor P-ox een sterke overschatting geeft van het totaal beschikbaar P (Van Rotterdam et al., 2014).

Voor locatie 5 en 6 en het uitmijnobject van locatie 3 is P-ox in de bouwvoor relatief laag (4-8 mmol/kg). Voor locaties 5 en 6 neemt P-ox toe met de diepte, vergelijkbaar met P-AL. Voor locatie 1 en 2 varieert P-ox tussen 10 en 20 mmol/kg. Er zijn geen verschillen tussen de behandelingen voor deze locaties. P-ox is in de laag 10-20 cm-mv vergelijkbaar met de bouwvoor maar is in de laag 30-50 sterk lager. Voor locatie 3 is P-ox erg laag, maar net als voor P-AL is P-ox in de bouwvoor van de verschrallingsbehandeling hoger dan in de uitmijnbehandeling. De relatief hoge P-toestand in de bouwvoor van de verschrallingsbehandeling in vergelijking tot de uitmijnbehandeling is de verklaring waarom op deze locatie de P-onttrekking hoger is bij verschrallen dan bij uitmijnen (Figuur 3-2).

Wat fosfaattoestand (P-AL en P-ox) betreft is deze het laagst voor locatie 6 en de uitmijnbehandeling van locatie 3. De fosfaattoestand is het hoogst voor locatie 1, gevolgd door locatie 2, de verschrallingsbehandeling van locatie 3 en de uitmijnbehandeling van locatie 5. Locatie 4 heeft een relatief lage P-AL. P-ox is erg hoog maar mogelijk is hier sprake van een artefact.

#### 4.4 Koppeling grond en gewasdata

Voor gras is opbrengst vaak zeer sterk afhankelijk van N-beschikbaarheid. In deze proef is noch de N-levering van de bodem (gemeten in 2010 en 2011, Tabel 4-1) noch het N-totaal gehalte in de bodem in de verschrallingsbehandeling direct gerelateerd aan de drogestofopbrengst. Er is geen direct verband gevonden tussen de algemene bodemkenmerken en gewasopbrengst. Drogestofopbrengst is wel zeer sterk lineair gecorreleerd aan N-opname door het gewas. In de verschrallingsbehandeling is P-opname ook lineair gecorreleerd aan drogestofopbrengst. Alleen op locatie 6, waar de opbrengsten relatief hoog zijn en de fosfaattoestand van de bodem laag, leidt de lage P-levering door de bodem tot lage P-gehalten in het gewas (Figuur 3-3). Voor de uitmijnbehandeling is dit het geval voor locatie 3 en 6. Bij verschrallen wordt de P-onttrekking dus bepaald door de factoren die de drogestofopbrengst bepalen tenzij P-levering door de bodem beperkend wordt.

Voor locatie 6 en de uitmijnbehandeling van locatie 3 is de fosfaattoestand van de bodem zeer laag. Dit geldt voor de gemeten parameters P-CaCl<sub>2</sub> (< detectielimiet), P-AL (<3-6 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g) en P-ox (2-6 mmol/kg). Wanneer de eerste 10 cm-mv van de verschillende locaties worden vergeleken is de P-AL het hoogst op locatie 1 en het laagst op locatie 4 en 6 (Figuur 4-2). Voor locatie 2 is P-AL intermediair tussen locatie 1 en 6. Voor locatie 3 en 5 is er een aanzienlijk verschil tussen de twee behandelingen. Voor locatie 3 is P-AL bij verschrallen hoger dan bij uitmijnen. In de uitmijnbehandeling is P-AL even laag als in locatie 6. Voor locatie 5 is het net andersom: bij uitmijnen is P-AL hoger dan bij verschrallen. Hiermee volgt P-AL de verschillen die zichtbaar waren voor de algemene bodemeigenschappen. Voor locatie 3 was zowel het OS-gehalte als het adsorptieoppervlak groter bij verschrallen dan bij uitmijnen. Deze grotere bindingscapaciteit voor P resulteert dus in een hogere P-AL. Voor locatie 5 was het net andersom. Hier was zowel het OS-gehalte als het adsorptiemaximum lager bij verschrallen dan bij uitmijnen. Hier resulteert een lagere bindingscapaciteit dus ook in een lagere P-AL.

De voor het gewas beschikbare P, zoals benaderd met P-AL is voor de locaties 4, 6 en de

uitmijnbehandeling van locatie 3 erg laag ( $P\text{-AL} < 10$  en soms  $< 5$ ).

Tabel 4-2). In de uitmijnbehandeling heeft locatie 6, ondanks de lage P-toestand, de hoogste (cumulatieve) opbrengst. Door de bemesting is deze opbrengst wel 1.7 keer hoger dan bij de verschralingsbehandeling. Desalniettemin leidt ook hier de P levering door de bodem tot lage P-gehalten in het gewas. De lage fosfaattoestand van de bodem beperkt de P-onttrekking enigszins maar niet de opbrengst. Op basis van de (chemische) samenstelling van de bodem (Tabel 4-1) heeft locatie 6 echter geen verwachte hogere opbrengstpotentieel ten opzichte van de andere locaties. De goede vochtvoorziening door het hoge grondwaterpeil (Figuur 4-1) op locatie 6 lijkt de enige mogelijke verklaring voor de hoge gewasopbrengsten ten opzichte van de andere locaties. Daarnaast wordt in het bodemprofiel de fosfaattoestand met de diepte hoger op locatie 6 (Figuur 4-3). Mogelijk dat de hoge grondwaterstanden indirect zorgen voor een fosfaattoevoer vanuit diepere bodemlagen.

Voor locatie 3, welke veel droger is dan locatie 6, is de lage fosfaattoestand wél de meest waarschijnlijke verklaring voor de achterblijvende opbrengsten ondanks dat er in de uitmijnbehandeling voldoende N en K aanwezig is, laten de hoge overschotten zien dat dit N en K niet benut worden. In combinatie met een achterblijvende P-onttrekking kan worden geconcludeerd dat in deze behandeling P limiterend lijkt te zijn.

In overeenstemming met Chardon (2008) laten deze resultaten zien dat behalve de fosfaattoestand in de bouwvoor (0-10 cm-mv) ook de grondwaterstand, en de daaraan gerelateerde redox potentiaal, en de fosfaattoestand in het bodemprofiel direct onder de bouwvoor zeer belangrijk zijn voor de gewasopbrengst en daarmee de P-onttrekking. De tijd die het duurt voordat met uitmijnen het gewenste resultaat wordt bereikt hangt dus van deze parameters af.

#### 4.5 *Verandering in bodem fosfaattoestand als gevolg P opname*

Omdat het een uitmijn experiment betreft is het interessant om te zien hoe de veranderingen van de fosfaattoestand in de bodem (gemeten met P-AL en P-ox) kunnen worden verklaard uit de P-onttrekking door het geoogste gras. De veranderingen in P-CaCl<sub>2</sub> zijn niet waarneembaar door de lage waardes. De verandering in P-AL en P-ox in de bodem en P-onttrekking door het gewas over de hele projectperiode (begin 2010 – eind 2014) is weergegeven in **Error! Reference source not found..**

Hieruit blijkt dat de afname van P-AL is veel minder sterk dan verwacht mag worden op grond van de P-onttrekking (beiden uitgedrukt in kg/ha). Dit betekent dat de P-AL wordt gebufferd door de totale P-reserves in de bodem. Voor P-ox is dit in mindere mate ook het geval. Om dit beter in beeld te kunnen brengen is in de monsters uit de 0-10 bodemlaag uit 2014 tevens het P-totaalgehalte bepaald.

Tabel 4.3. Cumulatieve fosfaatopname door het gewas (2010-2014) in vergelijking met de fosfaatvoorraden in de bodem, bepaald met de P-AL en P-ox methode. Alles in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.

Locatie	opname gewas	P-AL					P-ox				
		2010	2011	2012	2014	Afname	2010	2011	2012	2014	Afname
1a	226	231	264	320	220	11	861	705	939	783	78
1b	405	253	220	242	165	88	861	626	939	705	157
2a	167	143	154	143	121	22	1018	861	1253	1096	-78
2b	420	176	143	154	110	66	1644	1174	1487	1566	78
3a	168	218	256	218	166	51	1000	819	909	728	273
3b	129	64	64	38	38	26	273	182	273	182	91
4a	139	52	42	36	36	16	2074	1555	2000	1777	296
4b	325	42	31	26	31	10	1703	1259	1481	1814	-111
5a	161	99	88	44	44	55	313	313	313	313	0
5b	314	220	176	143	165	55	626	548	626	626	0
6a	233	33	66	88	44	-11	313	313	626	626	-313
6b	314	33	66	55	44	-11	313	391	470	313	0

Hier volgt nog een discussie.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

- De opbrengst en fosfaat-opname door het gras is bij uitmijning gemiddeld over de gehele projectperiode (begin 2010 – eind 2014) circa twee keer zo hoog dan bij verschraling.
- Bij een zeer lage fosfaatbeschikbaarheid ( $P\text{-AL} < 5$ ) van de bovengrond, is dit niet altijd het geval. Bij een combinatie van een zeer lage P-beschikbaarheid in de bovengrond en drogere omstandigheden (locatie 3) leidt uitmijnen niet tot een hogere fosfaatopname dan verschralen. Bij een combinatie van een zeer lage P-beschikbaarheid in de bovengrond met nattere omstandigheden en een hogere P-beschikbaarheid in de ondergrond (locatie 6), leidt uitmijning wel tot een hogere P-onttrekking dan verschraling.
- Op de locaties waar P-AL in de uitgangssituatie relatief hoog is (locaties 1, 2, 3 verschralen en 5 uitmijnen), neemt deze gedurende de proef zowel bij verschralen als uitmijnen af. Op de locaties waar een verantwoorde vergelijking tussen verschralen en uitmijnen mogelijk is (locatie 1 en 2) is de afname in P-AL tussen 2010 en 2014 bij uitmijnen sterker dan bij verschralen. Op de locaties waar P-AL relatief laag is (locatie 3 uitmijnen, 4 en 6) neemt P-AL niet of slechts weinig af.
- De afname in P-AL blijft op alle locaties achter bij wat je op basis van de fosfaatonttrekking door het gewas zou verwachten. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat de fosfaatfractie die wordt bepaald met de P-AL extractie sterk wordt gebufferd door de totale P-reserves (P-totaal en P-ox) in de bodem.
- Fosfaat dat aanwezig is in de diepere lagen van het bodemprofiel levert een bijdrage aan de totale beschikbaarheid, met name waar de grondwaterstand hoog (geregeld tot aan het maaiveld) is.

In overeenstemming met eerdere studies zijn de belangrijkste factoren die bepalen of de afname in fosfaattoestand toereikend is om een bepaalde natuurdoeltype te bereiken:

- De fosfaattoestand in de bovengrond, uitgesplitst naar zowel de reversibel gebonden P als de totaal gebonden P die de reversibel gebonden P buffert.
- De fosfaattoestand in de bodemlagen direct onder de bouwvoor. Dit is met name belangrijk voor locaties met een hoge grondwaterspiegel. Voor droge locaties speelt dit een minder grote rol, maar het wordt wel belangrijk wanneer de grondwaterspiegel omhoog wordt gezet.
- De hydrologische setting. Bij een hoge grondwaterstand is de fosfaatonttrekking door het gewas hoger door hogere gewasopbrengsten en een betere fosfaatbeschikbaarheid en is door fluctuerende redox omstandigheden ook de beschikbaarheid van P uit diepere bodemlagen hoger.

## 6 Literatuur

- Beumer V, Wirdum G van, Sival FP, Besselink D, Verhoeven JTA, Delft SPJ van, Beest JG ten, Ellen GJ ten & Lebbink MJI (2010) Beoordelingsmethodiek Overstromingseffecten in Beekdalen BOB SKB-projectnummer: PP8347. Deltares, 75 pp + bijlagen.
- Chardon W.J. (2008) Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling; een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Alterra-rapport 1683, Wageningen, 43 pp.
- Chardon W, Sival F, Kemmers R, Van Delft B & Koopmans G (2009) Is het mogelijk om met uitmijnen in plaats van ontgronden voldoende fosfaat kwijt te raken? De Levende Natuur, 110, 1, 39-42.
- Ehler P A I, Middelkoop J C, Dekker P H M (2009) Fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen eindrapportage Alterra rapport 1773, Alterra, Wageningen.
- Daly, K; Jeffrey, D; Tunney, H (2001) The effect of soil type on phosphorus sorption capacity and desorption dynamics in Irish grassland soils. Soil use and management volume 17, pages 12-20.
- Delft SPJ van, Groot WJM de & Chardon WJ (2006) Bemonstering landbouwgronden en bepaling van de beschikbaarheid van fosfaat in verband met voorgenomen natuurontwikkeling; Karakterisering van 7 terreinen in de provincie Limburg. Alterra-rapport 1332, Wageningen, 88 pp.
- Kemmers RH, Beltman B, Grootjans AP, Jansen AJM, Kooijman G & Schipper PC (2003) Voorkomen en bestrijden van Pitrus-dominantie in natte schraallanden; Praktijkexperiment Gees. Alterra-rapport 1620, Alterra, Wageningen, 59 pp.
- Koopmans, GF; Chardon, WJ; Dekker, PHM; Römkens, PFAM, Schouman, OF (2006) Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. Soil Science volume 171, issue 2 Pages 103 – 116.
- McKeague, JA; Brydon JE, Miles, NM (1971) Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. Soil science society of America proceedings Volume: 35 Issue: 1 Pages: 33-38.
- Postma R, Boer DJ den & Draai H van der (2009) Fosfaatonderzoek en bemestingsadvies t.b.v. natuurontwikkeling in Roeghoorn. NMI-rapport 1327, Wageningen, 15 pp.
- Postma R, Hut H, Warners H, Ettema K, Smits AH, Hidding H, Verbeek S, Hofstra R, Smeenge H, Boer DJ den & Haas MJG de (2011-I) Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; tussenrapport I. NMI, Wageningen, 30 pp.
- Postma R, Hut H, Warners H, Ettema K, Smits AH, Hidding H, Verbeek S, Hofstra R, Smeenge H, Boer DJ den & Haas MJG de (2011-II) Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Resultaten 2010. Tussenrapport 2. NMI, Wageningen, 34 pp.
- Shang, C; Zelazny, LW; Berry, DF; Maguire, RO (2013) Orthophosphate and phytate extraction from soil components by common soil phosphorus tests. Geoder, volume 209-210, pages 22-30.
- Sival F, Kemmers R, Vlieger W de & Jong B de (2009) Vegetatieontwikkeling en pitrusdominantie op voormalige landbouwgronden in het Geeserstroombgebied; Praktijkexperiment Gees. Alterra-rapport 1899, Alterra, Wageningen, 50 pp.
- Timmermans B, Van Eekeren N, Finke E, Smeding F & Bos M (2010) Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting; handreiking voor de praktijk. Brochure Louis Bolk Instituut, Driebergen, 25 p.
- Van der Bolt FJE, Van Boekel EMPM, Clevering OA, Van DIJK W, Hoving IE, Kselik RAL, De Klein JJM, Leenders TP, Linderhof VGM, Massop HTL, Mulder HM, Noij GJ, Van Os EA, Polman NBP, Renaud LV, Reinhard S, Schoumans OF & Walvoort DJJ (2008) Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten. Alterra-rapport 1687, 93 pp.