



# Fosfaatkarakteristieken van de bodem van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel

Een gedetailleerd beeld van het bodemprofiel

Philip Ehlert & Gerwin Koopmans



**Telen met toekomst**



# Fosfaatkarakteristieken van de bodem van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel

Een gedetailleerd beeld van het bodemprofiel

Phillip Ehlert & Gerwin Koopmans



## Colofon

*Uitgever:*

### **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 70 00  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [post@plant.wag-ur.nl](mailto:post@plant.wag-ur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

© 2004 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Telen met toekomst is een van de landelijke onderzoeksprojecten die uitgevoerd worden in het kader van het Actieplan Nitraatprojecten (2000-2003). Het project wordt gefinancierd door de Ministeries van LNV en van VROM.

In 'Telen met toekomst' werken agrarische ondernemers samen met Wageningen UR (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving en Plant Research International B.V.) en DLV Adviesgroep nv aan duurzame bedrijfssystemen voor akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt, bloembollen en boomteelt.

### **Informatie over Telen met toekomst**

DLV Adviesgroep nv  
Telefoon: (0317) 49 16 12  
Fax: (0317) 46 04 00  
Postbus 7001, 6700 CA WAGENINGEN  
E-mail: [info@telenmettoekomst.nl](mailto:info@telenmettoekomst.nl)  
Internet: [www.telenmettoekomst.nl](http://www.telenmettoekomst.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Woord vooraf	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Fosfaatonderzoek op de kernbedrijven	6
1.2.1 Probleemstelling	9
1.2.2 Onderzoeksvragen	9
2. Materiaal en methoden	11
2.1 Rhizon sms	11
2.1.1 Grondmonsters	11
2.1.2 Methodisch laboratorium-experiment	11
2.2 Profielbemonstering	12
2.3 Bemonstering van bodemvocht	13
2.4 Methoden van grondonderzoek	13
2.5 Berekeningen en statistische analyses	14
3. Methodisch laboratoriumexperiment	17
3.1 Karakterisatie P <sub>-1:2</sub> extract	17
3.2 Rhizon soil moisture sampler	18
3.2.1 TOC	18
3.2.2 Anorganisch fosfaat	19
3.2.3 Totaal-P concentraties in de 0,8 µm P <sub>-1:2</sub> en Rhizon sms filtraten	20
3.2.4 Implicaties van het methodisch laboratoriumexperiment	21
3.2.5 Conclusies	22
4. Profielbemonstering	23
4.1 Beschrijving bodemprofiel	23
4.2 Bemonstering	24
4.2.1 Totaal-P	24
4.2.2 Organisch-P	24
4.2.3 Fosfaatverzadigingsgraad	24
4.2.3.1 P-ox	26
4.2.3.2 Al-ox + Fe-ox	26
4.2.3.3 Fosfaatverzadigingsgraad (FVG)	27
4.2.4 Pw-getal	29
4.2.5 P <sub>1:2</sub>	29
4.2.6 Sorptiekarakteristieken	31
4.3 Bodemvocht	32

	pagina
5. Fosfaatvoorraad en fosfaatflux	33
5.1 Fosfaatvoorraad	33
5.2 Kritische Pw-getal	34
5.3 Vergelijking bodemvocht en fosfaattoestand	35
5.4 Fosfaatflux	36
5.5 Opslagcapaciteit	37
5.6 Fosfaatprocessen	38
6. Discussie en conclusies	41
Literatuur	45
Bijlage I. Overzicht meetgegevens van de profielbemonstering te Vredepeel	1 p.
Bijlage II. Overzicht meetgegevens van de profielbemonstering te Meterik	1 p.
Bijlage III. Berekening van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)	2 pp.

## Woord vooraf

Het project 'Telen met toekomst' heeft voor de kernbedrijven Meterik en Vredepeel onder meer als doelstelling om de uitspoeling van fosfaat op korte termijn terug te brengen naar de streefwaarde voor stagnant zoet oppervlaktewater en zelfs te streven naar de aangescherpte waterkwaliteitsnorm.

Teeltsystemen voor akkerbouw en vollegrondsgroententeelt zijn opgezet om onder meer aan deze doelstelling te beantwoorden. Alterra verricht in het kader van het project onderzoek naar de processen van stikstof en fosfaat in de bodem. Dit rapport gaat over metingen van fosfaatkarakteristieken van het bodemprofiel van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Op basis van de meetgegevens en berekeningen worden uitspraken gedaan over de vorm van het fosfaatprofiel in de bodem, de kans op uitspoeling, het risico op doorslaan van de bodem bij opgelegde managementstrategieën en belangrijke bodemprocessen.

Eduard Hummelink en Tonnie van Steenbergen, van Alterra en Marc Kroonen, Richard Peters, Brigitte Kroonen-Backbier, Harry Verstegen en Pascal Wanten van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel hebben acties ondernomen om grondmonsters te verzamelen. Jan van Kleef heeft de Rhizon sms kunstwortels geplaatst en bemonsterd. Wobbe Schuurmans, Bert van der Boom en Gerbert Kets van Alterra Centrum Bodem en Jaap Nelemans, Monique Driessen, Willeke van Tintelen en Kees Koenders van het departement Omgevingswetenschappen, Sectie Bodemkwaliteit hebben de grondmonsters onderzocht op specifieke chemische kenmerken. Falentijn Assinck heeft de data voor het neerslagoverschot aangeleverd. Data over stikstofmineralisatie zijn afkomstig van Kor Zwart, Annemieke Smit en Bert Smit. De bemonstering van bodemvocht en de bepaling van het fosforgehalte is nadrukkelijk een onderwerp van discussie met Caroline van der Salm, Wim Chardon, Oscar Schoumans en Antonie van Toorn van Alterra; hun respons heeft mede vormgegeven aan de opzet van het onderzoek. Kor Zwart en Annemieke Smit hebben de conceptrapportage kritisch gelezen. Voor hun inzet en bijdrage betuigen wij hier onze dank.





## Samenvatting

In het kader van het project 'Telen met toekomst' is gedetailleerd onderzoek uitgevoerd naar bodemkarakteristieken en bodemprocessen voor fosfaat van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Onderzocht werd waar het fosfaat in de bodem zit, hoe het fosfaatprofiel in de bodem eruit ziet, hoe groot de kans is op fosfaatuitspoeling en of er risico is op het doorslaan van de bodem als gevolg van de opgelegde bemestingsstrategieën. Ter beantwoording van deze vragen is in het najaar van 2002 op beide kernbedrijven een gedetailleerde bemonstering van het bodemprofiel in lagen van 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm en van de laag 0-100 cm uitgevoerd. Daarnaast is bodemvocht bemonsterd met kunstwortels (Rhizon sms). De grondmonsters zijn onderzocht op totaal fosfaat (totaal-P), organisch gebonden fosfaat (organisch-P), fosfaatverzadigingsgraad (P-ox, Fe-ox en Al-ox), Pw-getal en fosfaat extraheerbaar met water bij een schudverhouding van 1:2 (P<sub>1:2</sub>). Grondmonsters van de bodemlagen 0-30, 50-60 en 70-80 cm zijn tevens gebruikt voor het vaststellen van de adsorptie-isotherm en fosfaat extraheerbaar met een ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapier (Pi-getal). De bodemvochtmonsters zijn onderzocht op totaal-P, anorganisch-P en opgelost organische stof (TOC).

In de bouwvoor 0-30 cm van Meterik komt 3,2 ton P ha<sup>-1</sup> voor, in de laag 30-100 cm 4,1 ton P ha<sup>-1</sup>. Op Vredepeel is in de bouwvoor 0,6 ton P ha<sup>-1</sup> aanwezig en in de laag 30-100 cm 1,3 ton P ha<sup>-1</sup>. Op beide locaties neemt het gehalte aan totaal-P en water extraheerbare vormen van fosfaat (Pw-getal en P<sub>1:2</sub>) af met de diepte. Fosfaat is op Meterik tot de laag 50-60 cm doorgedrongen; bij Vredepeel tot circa 40-50 cm. Er is geen sprake van een blokfront indien de fosfaattoestand bepaald wordt met een destructieve methode van grondonderzoek. Indien de fosfaattoestand bepaald wordt met een extractie met water (Pw-getal, P<sub>1:2</sub>) is er wel sprake van een blokfront. Van het totaal-P komt in de laag 0-30 cm bij Meterik 34% in organische vorm voor, bij Vredepeel 40%. Het organisch-P gehalte neemt op beide locaties af met de diepte tot circa 50 cm diepte maar het aandeel organisch-P ten opzichte van totaal-P neemt toe. Bij Meterik neemt het organisch-P gehalte tot in de laag 50-70 cm toe en daarna weer af. Dit wijst op een vergraven profiel. De ondergrond van Vredepeel vertoont een continue afname van organisch-P met de diepte.

De bouwvoor 0-30 cm van Meterik heeft een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) van 127%, terwijl de laag 0-30 cm van Vredepeel een FVG heeft van 50%. De FVG daalt met toenemende diepte. De FVG van de bodemlaag 0-100 cm is in Meterik 56%, voor Vredepeel is de FVG 25%. Op Meterik is niet bemonsterd tot de GHG waardoor geen uitspraak kan worden gedaan of de bodem fosfaatverzadigd is; de bodem van Vredepeel is daarentegen fosfaatverzadigd.

Het Pw-getal van de bouwvoor van Meterik is 116 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>; van Vredepeel 31 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>. De fosfaattoestand op beide locaties zal tot *laag* of *zeer laag* (Pw-getal 11 – 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>) moeten dalen om het fosfaatgehalte in het bodemvocht niet hoger te doen zijn dan 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup> (aangescherpte waterkwaliteitsnorm) of 0,15 mg totaal-P l<sup>-1</sup> (streefwaarde stagnant zoet oppervlaktewater). Bij een *voldoende* tot *ruim voldoende* fosfaattoestand van de bouwvoor (21-30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>) wordt de grenswaarde voor het grondwater van dekzand (0,4 mg totaal-P l<sup>-1</sup>) nog net niet overschreden.

De berekende fosfaatuitspoeling in het uitspoelingsgevoelige seizoen uit de bouwvoor 0-30 cm en de laag 50-60 cm van Meterik is respectievelijk gemiddeld 22,8 en 1,6 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>; bij Vredepeel spoelt uit de laag 0-30 cm 1,5 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> uit. Op Meterik vindt uit de lagen 0-30 en 50-60 cm dus normoverschrijdende uitspoeling plaats, bij Vredepeel is dat de laag 0-30 cm.

Om aan een criterium van hooguit 25% fosfaatverzadiging te kunnen voldoen dient 4 ton P per ha bij Meterik afgevoerd te worden. Bij Vredepeel dient circa 650 kg P ha<sup>-1</sup> afgevoerd kunnen worden om aan dit criterium te kunnen voldoen. Indien de aangescherpte norm voor de waterkwaliteit wordt toegepast, dan kan in de bodemlaag 0-100 cm van Meterik geen fosfaat meer worden opgeslagen, bij Vredepeel

kan nog 124 kg P ha<sup>-1</sup> worden opgeslagen in de bodemlaag 50-100 cm. Bij beide locatie bestaat er dus op termijn een reëel gevaar op het doorslaan van de bodemfilters, uitgaande van de meest stringente waterkwaliteitsnorm voor P.

Op Meterik dient uitsluitend fosfaat te worden afgevoerd. Zelfs dan blijft er risico op te hoge fosfaat-uitspoeling. In de situatie van Vredepeel moet een netto fosfaatoverschot van 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> worden bereikt. Hogere overschotten zullen op termijn leiden tot te hoge uitspoeling.

Op Meterik komt in de laag 0-30 cm bij een berekende mineralisatie van 120 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> 22 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (49 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) vrij; op Vredepeel komt 9,9 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) vrij. Mineralisatie is één oorzaak waardoor de fosfaattoestand op Meterik constant blijft. De bijdrage van de mineralisatie is echter te laag om de bodembalans van fosfaat van de laag 0-30 cm op peil te houden (netto geen wijziging). Waarschijnlijk is de voorraad aan reversibel gebonden fosfaat onderschat.

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De maatschappij wil een schone en veilige landbouwproductie. Akkerbouwers en tuinders moeten in spelen op deze maatschappelijke vraag. Een belangrijk aandachtspunt bij een schone en veilige landbouwproductie is het verbeteren van het mineralenmanagement op akker- en tuinbouwbedrijven. Plant Research International, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving en DLV Adviesgroep hebben in opdracht van de Ministeries LNV en VROM het project Telen met toekomst gestart om voor de akker- en tuinbouw aan deze maatschappelijke wens te beantwoorden (Buck e.a., 2000, Booij e.a., 2001).

Het project kent twee belangrijke doelstellingen:

- (i) het ontwikkelen, toepassen en verbeteren van duurzame productiesystemen in de sectoren akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt, bloembollen en boomteelt, en;
- (ii) het communiceren van de resultaten naar deelnemers, beleid, landbouwbedrijfsleven en de samenleving.

Het project kent vijf belangrijke thema's:

- 1) Schoon milieu: terugdringen van emissie van mineralen en gewasbeschermingsmiddelen.
- 2) Duurzaam beheer van productiemiddelen: beheer van de bodem en het gebruik van eindige grondstoffen (water en energie).
- 3) Kwaliteitsproductie: kwantiteit en kwaliteit van de productie.
- 4) Multifunctionaliteit: andere functies van het agrarische bedrijf gericht op ruimte voor flora en fauna.
- 5) Continuïteit van de bedrijfsvoering: realiseren van uitvoerbare en rendabele bedrijfsvoering.

Het onderzoek binnen Telen met toekomst vindt plaats op 5 onderzoekslocaties (kernbedrijven) en 33 commerciële praktijkbedrijven verdeeld over de sectoren akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt, bloembollen en boomteelt. Het onderzoek op de kernbedrijven heeft tot doel om productiesystemen te ontwikkelen die moeten voldoen aan de meest strenge milieunormen. Het onderzoek op de praktijkbedrijven heeft tot doel om gestelde milieudoelen te bereiken onder de randvoorwaarden van een voldoende bedrijfseconomisch rendement en continuïteit van het bedrijf. Procesonderzoek naar onder andere relevante bodemprocessen ondersteunt de ontwikkeling van deze productiesystemen op de kernbedrijven. De onderzoeksresultaten op de kernbedrijven dienen als kennisbron en reiken handvatten aan voor ontwikkelingen op de praktijkbedrijven.

Alterra neemt deel aan het project Telen met toekomst. Op het kernbedrijf 't Meterikse Veld (Meterik) en het kernbedrijf te Vredepeel (Vredepeel) wordt gedetailleerd onderzoek aan bodemprocessen uitgevoerd ten einde emissies van stikstof en fosfaat naar het milieu terug te dringen. Een intensief meetprogramma voor stikstof (N) en fosfaat (P) voor drie jaar met interpretatie van meetgegevens op basis van proceskennis is opgesteld (Zwart en Smit, 2001).

Het doel van het onderzoek op de kernbedrijven is tweeledig:

- 1) Het zo snel mogelijk behalen van de streefdoelen (maar met de randvoorwaarde dat er dierlijke mest moet worden ingezet en dat de bodemvruchtbaarheid moet blijven behouden).
- 2) Het verdiepen van het inzicht in de processen die leiden tot de verliezen, zodat gerichte maatregelen kunnen worden genomen op kern- en praktijkbedrijven.

Voor fosfaat zijn de streefwaarden op basis van de waterkwaliteitsnorm vastgesteld. In 2002 is het doel om de waterkwaliteitsnorm van 0,15 mg totaal-P l<sup>-1</sup> te bereiken. Voor 2003 en 2004 geldt de aangescherpte waterkwaliteitsnorm van 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup>.

Binnen de Kernbedrijven zijn een aantal varianten aangelegd:

- 1) Synthesedeel
- 2) Analysedeel (1 of 2)

In het Synthesedeel wordt getracht de milieudoelen te behalen tegen een zo laag mogelijke opbrengstderving. De wijzigingen die zijn aangebracht ten opzichte van de huidige gangbare teeltpraktijken zijn gebaseerd op een analyse van de huidige N en P verliezen van de huidige praktijk, met inbegrip van de geschatte verliezen op de kernbedrijven zelf.

De Analysedelen zijn meer experimenteel. In Analysedeel 2 worden *'alle technische middelen maximaal ingezet om zo snel mogelijk te voldoen aan de gestelde waterkwaliteitsnormen'*. In deze variant worden dus de meest stringente maatregelen genomen om de verliezen te beperken, zonder financiële randvoorwaarden (achteruitgang in opbrengst). Analysedeel 1 is een tussenvariant, waar *'minder vergaande maatregelen worden genomen wat betreft risico en kosten'*<sup>1)</sup>.

De bedrijfssystemen op de kernbedrijven zijn ontworpen door PPO en Plant Research International (PRI).

Op Meterik en Vredepeel is door Alterra een uitvoerig meetprogramma opgezet om de stromen (fluxen) van N en P zo goed mogelijk te meten, zodat gefundeerde uitspraken kunnen worden gedaan over de milieubelasting en de efficiëntie waarmee nutriënten worden ingezet en over de effecten die de voorgestelde veranderingen in het bedrijfssysteem met zich meebrengen.

## 1.2 Fosfaatonderzoek op de kernbedrijven

Op Meterik en Vredepeel heeft in 2001 een bemonstering van de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm plaatsgevonden. De grondmonsters zijn onder meer geanalyseerd op Totaal-P, Pw-getal, P-AL-getal en fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Tabel 1 geeft de resultaten; om onderlinge vergelijking mogelijk te maken zijn de analyseresultaten herleid tot dezelfde dimensie (kg P kg<sup>-1</sup>). De fosfaattoestand van Meterik in 2001 is aanzienlijk hoger dan de fosfaattoestand van Vredepeel (Tabel 1). Ook de ondergrond van de kernbedrijven verschilt in fosfaattoestand. Vredepeel bevat minder fosfaat in de ondergrond onder de bouwvoor dan Meterik. De fosfaattoestand neemt op beide locaties met de diepte af. Op Meterik neemt in relatieve zin in de bodemlaag 60-90 cm het Pw-getal en het P-AL-getal sterker af dan op Vredepeel waar de verhouding tussen deze fosfaatparameters niet afhangt van de diepte. De verdeling van de bodemfracties van fosfaat over het bodemprofiel verschilt daardoor tussen de locaties.

Op Meterik heeft de bodemlaag 0-90 cm heeft een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) van gemiddeld 39%. Nu ligt de GHG op Meterik diep: > 3 m. De bodemlaag 0-90 cm komt niet overeen met de referentie-diepte volgens het protocol fosfaatverzadigde gronden (van der Zee, 1989). Wel wijst de waarde van de FVG erop dat deze bodemlaag een verhoogd risico heeft op het weglekken van meer fosfaat dan milieu-verantwoord is. Normoverschrijdende uitspoeling uit de bodemlaag 0-90 cm vindt op Vredepeel nog niet plaats indien de definitie van het huidige protocol voor fosfaatverzadigde gronden wordt toegepast (Van der Zee e.a., 1990). In 2001 was echter nog niet bekend waar de GHG zich bevond.

Tabel 1. Verkenning naar enige fosfaatkarakteristieken op de kernbedrijven in 2001 (berkomst data: BLGG – Oosterbeek).

Locatie	Laag	Totaal-P	P-AL-getal <sup>1</sup>	Pw-getal <sup>2</sup>	FVG <sup>3</sup>	Organische stof	Volumegewicht <sup>4</sup>
	[cm]	[mg P kg <sup>-1</sup> ]	[mg P kg <sup>-1</sup> ]	[mg P kg <sup>-1</sup> ]	[%]	[%]	[kg l <sup>-1</sup> ]
Meterik	0-30	925	530	43	118	2,7	1,39
	30-60	636	352	54	88	1,7	1,25
	60-90	311	83	5	30	1,9	1,42
Vredepeel	0-30	373	185	14	44	3,7	1,34
	30-60	84	34	3	12	1,7	1,43
	60-90	26	13	1	10	0,6	1,49

<sup>1</sup>  $\times 0,229$  geeft de dimensie mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 g)<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup>  $\times 2,29 \times$  volumegewicht geeft de dimensie mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> Fosfaatverzadigingsgraad (FVG) volgens  $P_{-ox} / (0,5 * (Al_{-ox} + Fe_{-ox}))$  op molbasis.

<sup>4</sup> Berekend uit het percentage (%) aan organische stof (OS):  $volumegewicht = 1 / (0,02525 * OS + 0,6541)$ .

Het project Telen met toekomst heeft tot doel om - op termijn - te gaan beantwoorden aan de aangescherpte waterkwaliteitsnorm van 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup>. Dit is een scherpere eis dan die waarop de definitie van de FVG is gebaseerd (0,15 mg totaal-P l<sup>-1</sup>). De aangescherpte waterkwaliteitseis leidt tot een andere definitie van het criterium voor fosfaatverzadigde gronden; bij een lagere FVG zal fosfaat al normoverschrijdend weglekken. Het vergt een aanzienlijke onderzoeksinspanning om verantwoord de getalswaarde die past bij een FVG gebaseerd op de aangescherpte waterkwaliteitsnorm vast te stellen en dat valt buiten het bestek van het hier gerapporteerde onderzoek. Voor het vaststellen van de FVG, die beantwoord aan een waterkwaliteitsdoelstelling van 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup>, is in het hier gerapporteerde onderzoek uitgegaan van de parameterwaarden van Van der Zee e.a. (1990). Tevens is ervan uitgegaan dat de verhouding anorganisch fosfaat (ortho-P) en organisch fosfaat bij de aangescherpte waterkwaliteitsnorm gelijk is aan die bij de niet aangescherpte waterkwaliteitsnorm (met andere woorden de standpuntbepaling van de Technische Commissie Bodembescherming (TCB) wordt gevolgd). Onder deze uitgangspunten geldt dat de FVG bij toepassing van de aangescherpte waterkwaliteitsnorm niet hoger mag zijn dan 10%. De bodemlaag 0-90 cm te Meterik en te Vredepeel zijn dan te rijk aan fosfaat en lekken fosfaat naar dieper gelegen bodemlagen. Omdat de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) te Vredepeel hoger is dan 90 cm beneden maaiveld, is er redelijkerwijs sprake van fosfaatverzadiging in geval van de aangescherpte waterkwaliteitsnorm. Omdat op Meterik de grondwaterstand veel dieper staat, is de bodem per definitie niet fosfaatverzadigd. Dat neemt niet weg dat op deze locatie fosfaat weglekt uit de bouwvoor en daaronder gelegen bodemlagen naar dieper gelegen lagen.

Analyses aan grondmonsters van specifieke bodemlagen geven indicaties over de kans op uitspoeling van fosfaat. Emissies van fosfaat worden vastgesteld door bodemvocht en grondwater te bemonsteren. De emissie van nutriënten wordt uitgedrukt in de belasting van grond- en oppervlaktewater, en kan plaatsvinden door middel van verticale en/of horizontale (on)diepe uitspoeling van bodemvocht met daarin aanwezige nutriënten (Sims e.a., 1998). De emissie van nutriënten uit landbouwgronden kan worden bepaald door het bemonsteren van bodemvocht in bodemlagen onder de bouwvoor, gevolgd door het meten van de N en P concentraties. Bodemvocht wordt gedefinieerd als de waterfase van de bodem, met de daarin opgeloste stoffen (Soil Science Society of America, 1996).

Er is in 2002 onderzoek uitgevoerd naar de bemonstering van fosfaatconcentraties in grondwater en bodemvocht. Op Vredepeel is grondwater te bemonsteren, bij Meterik zit het grondwater te diep. Vastgesteld werd dat het gehalte aan Totaal-P in de bovenste meter van het grondwater en in het

bodemvocht zeer laag is ( $< 0,05 \text{ mg P l}^{-1}$ ) en lager dan de aangescherpte norm voor de waterkwaliteit (Tabel 2). Ook het bodemvocht op 1 m diepte te Meterik en op 0,5 m te Vredepeel was niet veront-rustend belast met P.

Tabel 2. *Totaalgehalten aan fosfor in bodemvocht en grondwater te Meterik en Vredepeel (bemonstering door Alterra in januari 2002).*

Herkomst	Totaal gehalte mg P l <sup>-1</sup>	LSD <sup>1</sup>
Bodemvocht, Meterik op 100 cm diepte	0,027	0,008
Bodemvocht, Vredepeel op 50 cm diepte	0,032	
Grondwater, Vredepeel, ongefilterd	0,017	0,004
Grondwater, Vredepeel, gefilterd over 0,45µ	0,010	
Grondwater, Vredepeel, niet aangezuurd	0,018	0,006
Grondwater, Vredepeel, aangezuurd	0,026	

<sup>1</sup> LSD: *Least square difference (kleinste significante verschil)*

De methoden van bemonstering van bodemvocht en grondwater voor fosforanalyses zijn in ontwikkeling bij Alterra. Filteren van grondwater over 0,45 µm leidt tot verlaging van het fosforgehalte. Dit is een aanwijzing dat niet alleen opgelost fosfor aanwezig is in het grondwater maar ook in de vorm van deeltjes. Alterra maakt bij het project Telen met toekomst gebruik bij de Rhizon soil moisture sampler (Rhizon sms). Deze ‘samplers’ worden ook wel kunstwortels genoemd. Bij de start van het onderzoek was niet bekend hoe de filterende werking was. Daarnaast blijkt aanzuren van grondwater ook tot hogere waarden te leiden hetgeen mogelijk wijst op neerslagen van P die bij aanzuren weer in oplossing gaan. Het is nog niet duidelijk waardoor die neerslagen ontstaan en wat hiervan de consequenties voor de meting zijn.

Het verkennend grondonderzoek in de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm geeft voor Meterik geen uitsluitsel wat de fosfaattoestand is in de bodemlaag waar de Rhizon sms zijn geplaatst. Te Vredepeel is de Rhizon sms op 50 cm diepte geplaatst. Bij een FVG van 10% zal de P-concentratie in het bodemvocht circa 0,03 mg P l<sup>-1</sup> bedragen. Er is circa 0,01 mg totaal-P l<sup>-1</sup> gemeten.

De lage P-concentraties in het bodemvocht wijzen dan uit dat op 100 cm op Meterik en op 50 cm te Vredepeel waarschijnlijk nog geen fosfaatuitspoeling van enige betekenis plaats vindt. Verificatie van de meting is gewenst gelet op de onzekerheden bij de eerste meting van de fosforconcentratie in het bodemvocht en gelet op de onzekerheden bij de berekening van de fosfaatverzadigingsgraad voor de aangescherpte waterkwaliteitsnorm.

De verkenningen in 2001 wijzen uit dat fosfaat zich heeft opgehoopt in de bodem. Die ophoping van fosfaat blijft doorgaan zolang de aanvoer van fosfaat hoger blijft dan de afvoer met (oogst)producten. Daardoor is erop den duur een verhoogd risico voor normoverschrijdende fosfaatuitspoeling. Ook bij een fosfaatoverschot van nul kan het fosfaatfront zich langzaam verplaatsten naar dieper gelegen bodemlagen. Tenslotte kan de bodem zo sterk opgehoopt zijn dat zelfs bij geen fosfaatbemesting de bodem lang fosfaat blijft lekken. De precieze ligging van het front is niet bekend en vormt daardoor het eerste aandachtspunt van onderzoek.

De methoden voor grondonderzoek voor Pw-getal en P-AL-getal wijzen voor Meterik uit dat de fosfaat-toestand dermate hoog is dat fosfaatbemesting niet nodig is. Vanaf een Pw-getal van 65 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup> is zelfs voor de meest fosfaatvragende vollegrondsgroentengewassen geen bemesting meer nodig (Ehlert e.a., 2000; Ehlert en Van Wijk, 2002; Ehlert e.a. 2002). Op Vredepeel is de fosfaattoestand ruim voldoende. Volgens de bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen kan, over een bouwplan gerekend, volstaan worden met strikte evenwichtsbemesting. Op beide locaties zal de fosfaattoestand verlaagd moeten worden om te kunnen beantwoorden aan gestelde doelen voor de (aangescherpte) waterkwaliteit. Onderzoek op de praktijkbedrijven heeft uitgewezen dat de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal *laag* tot *voldoende* dient te zijn om aan waterkwaliteitsnormen te kunnen voldoen. Het is voor de percelen van de kernbedrijven nog niet bekend bij welke fosfaattoestand beantwoord wordt aan de - aangescherpte - waterkwaliteitdoelstellingen (kritisch Pw-getal). Voor Vredepeel zal per perceel bekeken dienen te worden wat de fosfaattoestand is en welke bemesting passend is.

Ervaring met het Bedrijfssystemenonderzoek (BSO) op deze kernbedrijven met (zeer) beperkte aanvoer van fosfaat bij hoge uitgangstoestanden heeft uitgewezen dat het Pw-getal nauwelijks daalt bij een gering overschot op de fosfaatbalans. Dit ervaringsfeit wijst erop dat er een of meerdere bodemfractie(s) is (zijn) welke fosfaat nalever(t)(en). Het is niet bekend welke fractie(s) dat is (zijn).

### 1.2.1 Probleemstelling

De bouwvoor op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel heeft de laatste decennia fosfaat gelekt naar onderliggende bodemlagen. Deze bodemlagen zijn daardoor verrijkt met fosfaat. Het fosfaat verplaatst zich als een front naar dieper gelegen bodemlagen en naar het grondwater. De sorptiekaracteristieken van de ondergrond tot de GHG zijn bepalend voor het al dan niet het doorslaan van de bodemfilterende werking voor fosfaat. Deze sorptiekaracteristieken zijn niet bekend. Daardoor is er geen uitsluitel te geven of en op welk termijn het bodemfilter doorslaat. Eveneens is niet duidelijk welke fosfaattoestand in de bouwvoor nagestreefd moet worden om te kunnen voldoen aan waterkwaliteitsnormen (kritische Pw-getallen).

Bij een gering fosfaatoverschot op de mineralenbalans blijkt de fosfaattoestand van de bouwvoor minder snel te dalen dan verwacht. Mogelijk draagt organische gebonden fosfaat na mineralisatie bij aan het instandhouden van de fosfaattoestand (Pw-getal). De betekenis van organisch gebonden fosfaat is echter niet bekend.

Bij een negatief overschot op de fosfaatbalans zal de fosfaattoestand gaan dalen. De snelheid waarmee de fosfaattoestand daalt is niet bekend. Daardoor is geen duiding uit te voeren van het effect van het uitmijnen van de fosfaattoestand op korte en lange termijn.

Tenslotte vraagt de bemonsteringsmethode van grondwater en bodemvocht om nadere aandacht.

### 1.2.2 Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen zijn gesteld.

- 1) Waar zit het fosfaat in de bodem; hoe ziet het fosfaatprofiel eruit?
- 2) Hoe groot is de kans op fosfaatuitspoeling?
- 3) Kan de bodem op de kernbedrijven doorslaan als gevolg van de binnen het project Telen met toekomst opgelegde bemestingsstrategieën met fosfaat?
- 4) Als de bodem door gaat slaan, op welk termijn gebeurt dat dan?
- 5) Werkt de Rhizon sms als een filter en zo ja welke fosfaatvormen in bodemvocht of grondwater worden uitgesloten bij bemonstering?

De looptijd van het project Telen met toekomst is te kort om met metingen in het veld het effect van wijzigingen in fosformanagement op de fosfaattoestanden en verlaging van emissies van P naar grond-

en oppervlaktewater te kunnen vaststellen. In tegenstelling tot stikstof verlopen de veranderingen voor fosfaat in de bodem namelijk veel trager. Vandaar dat onderzoek is uitgevoerd op basis van onderzoek in laboratoria en met behulp van een mechanistisch concept voor het gedrag van anorganische fosfaat in de bodem. Dit concept onderscheidt drie fosfaatfracties in de bodem.

- 1) Fosfaat in de bodemoplossing;
- 2) Fosfaat in gewasbeschikbare vorm en gevoelig voor weglekken (reversibel gebonden P). Dit is fosfaat dat geadsorbeerd is aan de buitenkant van bodemdeeltjes en recent gevormde neerslagen van fosfaat (reversibel gebonden fosfaat);
- 3) Fosfaat dat langzaam binnen dringt in bodemdeeltjes en daar wordt vastgelegd en fosfaat dat langzaam uitkristalliseert tot slecht oplosbare fosfaatmineralen (irreversibel gebonden of gefixeerd fosfaat).

Het onderzoek is erop gericht om de omvang van deze fracties vast te stellen. Dit rapport geeft de resultaten van het onderzoek naar de techniek van het meten van fosfaatgehalten in grondwater en/of bodemvocht en bodemfracties van fosfaat in de lagen tot 1 m op de twee kernbedrijven.

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft materiaal en methoden, hoofdstuk 3 gaat in op technische aspecten van het meten van fosfaat in bodemvocht, hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de profielbemonstering. In hoofdstuk 5 worden berekeningen gegeven; tenslotte worden in hoofdstuk 6 de discussie en de conclusies gegeven.



## 2. Materiaal en methoden

De filterende werking van de Rhizon soil moisture samplers (Rhizon sms) is onderzocht. Daarnaast zijn bodemprofielen bemonsterd voor de bepaling van specifieke fosfaatkarakteristieken.

### 2.1 Rhizon sms

#### 2.1.1 Grondmonsters

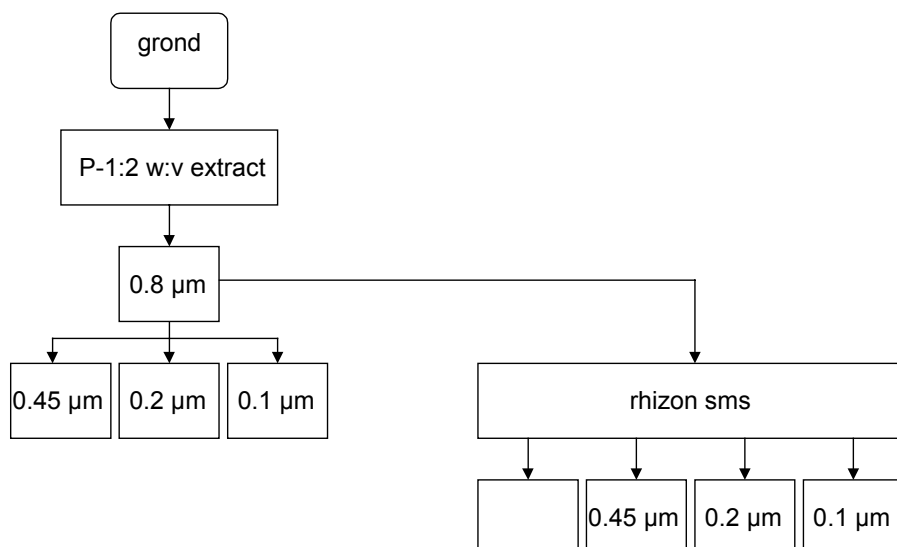
Grondmonsters zijn genomen van de 0-30 cm bodemlaag van de percelen 24 en 18.1S op respectievelijk de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Gegevens van algemeen grondonderzoek en op fosfaatparameters worden gegeven in Tabel 3.

*Tabel 3. Algemene bodemkarakteristieken en fosfaatparameters van de 0-30 cm bodemlaag van de percelen 24 en 18.1S op respectievelijk de kernbedrijven Meterik en Vredepeel in 2001 (herkomst data BLGG-Oosterbeek).*

Parameter	Meterik	Vredepeel
pH-KCl	5,4	5,8
organische stof (%)	2,8	3,9
Al-ox (mmol kg <sup>-1</sup> )	15	44
Fe-ox (mmol kg <sup>-1</sup> )	28	7
P-ox (mmol kg <sup>-1</sup> )	178	59
Pw-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup> )	228	107
totaal-P (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup> )	28	13
Fosfaatverzadigingsgraad (FVG, %)	130	51

#### 2.1.2 Methodisch laboratorium-experiment

Het methodisch laboratorium-experiment had tot doel om de vraag te beantwoorden of er fosfaat geassocieerd is met deeltjes in het bodemvocht van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel en of Rhizon sms hierop een filterende werking uitoefent. Daartoe is een extract gemaakt waarbij gedemineeraliseerd water is toegevoegd aan veldvochtige grond, zodat de uiteindelijke grond : vloeistof verhouding 1:2 (w:v) was (P-1:2). Een dergelijk P-1:2 extract wordt voorgesteld als extractie-methode om bodemvocht te simuleren (Sonneveld e.a., 1990). De suspensie werd 1 uur geschud met 130 slagen per minuut bij 20°C. Het P-1:2 extract is vervolgens door een wattenfilter en een 0,8 µm filter gefiltreerd. Tenslotte is een deel van het 0,8 µm P-1:2 filtraat nogmaals gefiltreerd door een 0,45, 0,2 en 0,1 µm filter. In deze filtraten zijn de concentraties van anorganisch-P (Murphy & Riley, 1962) en Total Organic Carbon (TOC) gemeten. Een deel van het 0,8 µm P-1:2 filtraat is door een Rhizon sms gefiltreerd. Het experiment is vijfmaal herhaald. Uiteindelijk is een deel van het Rhizon sms filtraat nogmaals gefiltreerd door een 0,45, 0,2 en 0,1 µm filter, en zijn de concentraties van anorganisch-P (Murphy & Riley, 1962) en TOC gemeten.



*Figuur 1. De opzet van het methodisch laboratoriumexperiment.*

## 2.2 Profielbemonstering

Op twee percelen per kernbedrijf is een profielbemonstering van de bodem uitgevoerd waarbij de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm zijn bemonsterd. Te Meterik betrof het de velden 24 en 25 en te Vredepeel de velden 26 2.a.2. en Meterik 27 2.a.2. Deze velden zijn geselecteerd vanwege het ontbreken van recente bemesting; residuwerking van fosfaat uit meststoffen werd daarmee zoveel mogelijk uitgesloten. Meterik werd op 15-10-2002 bemonsterd, Vredepeel op 8-10-2002. De bemonsteringsstrategie berustte op een systematische bemonstering volgens het protocol fosfaatverzadigde gronden: per perceel is op 15 plekken volgens een vierkant raster bemonsterd (Van der Zee e.a., 1990). Op Vredepeel werden met een hydraulische boor de monsters genomen (Foto 1). De monsterlaag van 1 m werd in één keer gestoken waarna de boorkern opgedeeld werd in de aangegeven lagen. De bemonstering te Meterik werd handmatig met gutsen uitgevoerd. Hierbij werd met één guts de lagen 0-30, 30-40, 40-50 en 50-60 cm gestoken en met een andere guts de lagen 70-80, 80-90 en 90-100 cm. Vermenging van bodemlagen werd daardoor vrijwel uitgesloten.



*Foto 1. Bemonstering van het bodemprofiel tot 1 m op Vredepeel met behulp van hydraulisch aangedreven gutsboor (Foto's H.A.G. Verstegen, Vredepeel).*

De bodemlagen zijn qua bemonsteringsdikte gestandaardiseerd om vergelijking mogelijk te maken. De laag 0-30 cm betreft de bodemlaag waarin op beide bedrijven de grondbewerking plaatsvindt; daarom is deze laag niet verder onderverdeeld in sublagen.

Op Meterik en Vredepeel werd daarnaast nog per perceel één grondmonster gestoken van de bodemlaag tot 1 m. Dit betreft de referentiediepte conform het protocol fosfaatverzadigde gronden voor Vredepeel. De GHG van Meterik ligt veel dieper. De bodemlagen zijn echter voor beide kernbedrijven qua bemonsteringsdikte gestandaardiseerd om vergelijking mogelijk te maken.

## 2.3 Bemonstering van bodemvocht

Direct onder de bouwvoor zijn te Meterik in de bodemlagen 30-40 en 70-80 cm en te Vredepeel in de bodemlagen 30-40 en 50-60 per bodemlaag vier Rhizon sms aan het eind van de winter geplaatst. Beoogd werd om na het plaatsen van de Rhizon sms drie maal na een neerslagoverschot van 50 mm bodemvocht af te zuigen alvorens bodemvochtmonsters te nemen ten behoeve van analyses. Het zeer droge jaar 2003 heeft dit uitgesloten. Uiteindelijk bleek alleen op Meterik op 6 mei 2003 van de laag van de laag 30-40 cm bodemvocht te bemonsteren te zijn. Op het veld is het verzamelde bodemvocht opgesplitst over twee sub-monsters waarvan er één aangezuurd werd met een druppel 1% HNO<sub>3</sub>. De andere Rhizon sms – eenheden produceerden geen bodemvocht. Het bodemvocht van Meterik werd geanalyseerd op:

- Totaal-P (ICP-AES);
- MRP-P (anorganisch fosfaat of ortho-P met flow-injectiemeting).

## 2.4 Methodes van grondonderzoek

De grondmonsters zijn standaard voorbehandeld door bij 40°C gedurende 48 uur te drogen en vervolgens gezeefd over 2 mm. De volgende parameters werden bepaald.

- Totaal-P;
- P-organisch;
- P-ox, Fe-ox, Al-ox (FVG);
- P-(1:2);
- Pw-getal + gewicht schepje 1,2 cm<sup>3</sup> grond.

In grondmonsters van de bodemlagen waar Rhizon sms cups waren geplaatst, dit zijn de lagen 0-30 (bouwvoor), 50-60 en 70-80 cm, werden tevens het Pi-getal en de P-adsorptie-isotherm (12 punts-isotherm) bepaald voor het vaststellen van het kritisch Pw-getal.

De pH, het organisch stof gehalte (gloeiverlies) en het totaal-P gehalte (zwavelzuur-salicylzuur-Se ontsluiting) zijn geanalyseerd volgens standaard analytische procedures (Houba e.a., 1993, 1997). Voor de totaal-P bepaling werd een submonster colloïdaal fijngemalen; alle overige analyses werden uitgevoerd in grondmonsters gezeefd over 2 mm. Het Pw-getal en Al-ox, Fe-ox en P-ox zijn geanalyseerd volgens respectievelijk Sissingh (1971) en Schwertmann (1964). Het gewicht van het schepje grond bij de Pw-bepaling is gewogen om resultaten van grondonderzoek onderling vergelijkbaar te maken door standaardisatie naar mg P kg<sup>-1</sup>. De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) is berekend volgens (van der Zee e.a., 1990):

$$FVG = \frac{P-ox}{\alpha \times [Al-ox + Fe-ox]} \times 100 \quad (1)$$

waar P-ox and [Al-ox + Fe-ox] zijn uitgedrukt in mmol kg<sup>-1</sup> en  $\alpha$  gelijk gesteld is aan 0,5. De bepaling van het Pi-getal berust op de methode van Sissingh (1991). Het organisch fosforgehalte (P-organisch) berust op een gemodificeerde methode van Kuo (1993). De modificatie bestaat uit het achterwege laten

van de neutralisatiestap met natriumhydroxide en de bepaling van fosfor werd uitgevoerd op de ICP-AES. Adsorptie-isothermen zijn bepaald conform Ehlert & Koopmans (2002).

De voorbehandeling van de grondmonsters en de analyses op Pw-getal (+ gewicht schepje) en Totaal-P zijn uitgevoerd door het Centraal Laboratorium van WAG-UR Departement Omgevingswetenschappen, sectie Bodemkwaliteit. Het Centraal Laboratorium heeft een interne kwaliteitszorg en een externe kwaliteitscontrole via WEPAL. De fosfaatanalyses in het bodemvocht en in de grondmonsters op FVG, Pi-getal, P-organisch en adsorptie-isothermen zijn uitgevoerd door Alterra.

## 2.5 Berekeningen en statistische analyses

### *Berekeningen*

De berekeningen van de fosfaatvoorraden bepaald met verschillende methoden van grondonderzoek is gebaseerd op de fosfaatmeting in het grondmonster, het volumegewicht gegeven in Tabel 1 en de laagdikte. Bij de berekening van de hoeveelheid fosfaat geëxtraheerd met water (Pw-getal) is het gewicht van het schepje grond van 1,2 cm<sup>3</sup> gebruikt om de hoeveelheid op gewichtsbasis te herleiden en vervolgens conform andere methoden van grondonderzoek de voorraad per bodemlaag

De adsorptie-isothermen zijn beschreven met een adsorptie-isotherm met twee sorptiemaxima:

$$Q_m = \frac{k_1 * Q_{max_1} * C_m}{1 + k_1 * C_m} + \frac{k_2 * Q_{max_2} * C_m}{1 + k_2 * C_m} \quad (2)$$

Met

$Q_{max_1}$ ,  $Q_{max_2}$ : geadsorbeerde hoeveelheid P (mg kg<sup>-1</sup> grond)

$k_1$ ,  $k_2$ : specifieke adsorptie constanten (l mg<sup>-1</sup>)

$Q_m$ : de hoeveelheid reversibel gebonden fosfor bepaald met adsorptie-isotherm en de hoeveelheid fosfor geëxtraheerd met een ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapier volgens de methode Sissingh (1991, mg P kg<sup>-1</sup>)

$C_m$ : concentratie bij evenwicht (mg P l<sup>-1</sup>)

Het kritisch Pw-getal wordt gedefinieerd als die fosfaattoestand waarbij het fosforgehalte in het bodemvocht gelijk wordt aan een norm voor de waterkwaliteit. Het kritische Pw-getal is bereikt als de fosfaatgehalten in het bodemvocht gelijk worden aan grenswaarde voor zoet stagnant oppervlaktewater of streefwaarden voor grondwater. Daarbij is aangenomen dat 67% van fosfor in het bodemvocht van anorganische herkomst is tenzij anders wordt aangegeven. De grenswaarde voor zoet stagnant oppervlaktewater voor 2005 is 0,15 mg P l<sup>-1</sup> en de streefwaarden voor grondwater voor 2020 is 0,4 mg P l<sup>-1</sup> voor zandgronden. De berekeningen zijn uitgevoerd onder de aanname dat de bodem 25% vocht bevat.

Meetgegevens van het P-gehalte in bodemvocht te Meterik zijn op dezelfde wijze gebruikt om het Pw-getal van de laag te berekenen.

De hoeveelheid fosfaat die een bodemlaag maximaal kan binden zonder een verhoogd risico op fosfaatuitspoeling te geven, is berekend uit vergelijking (1) en het criterium voor fosfaatverzadiging van 25%. Dit criterium is gebaseerd op het onderzoek van Van der Zee (1990).

De hoeveelheid fosfaat, die uitspoelt uit een bodemlaag, is berekend uit het neerslagoverschot in de uitspoelingsgevoelige periode 1 oktober tot 1 maart.

Hiervoor zijn data gebruikt van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel voor de jaren 2001-2002 en 2002-2003. Het neerslagoverschot in 2003 te Vredepeel was op 1 oktober 2002 negatief; 2003 was

namelijk een extreem droog jaar. Omdat het netto neerslagoverschot over uitspoelingsgevoelige periode berekend wordt als het verschil tussen het overschot in het voorjaar min het overschot in het voorliggende najaar, is het berekende overschot in 2003 niet afwijkend van dat in 2002. Een deel van het overschot is echter gebruikt om het profiel weer met vocht aan te vullen. Dit hydrologisch aspect wordt in dit onderzoek niet verder uitgewerkt. De berekening van de fosfaatuitspoeling berust hier op oriënterende berekeningen waarbij volstaan kan worden met enkele kengetallen. Het fosforgehalten in het bodemvocht in een specifieke bodemlaag is bepaald uit gemeten Pw-getal, Pi-getal en adsorptie-isotherm. Dit gehalte vermenigvuldigd met het netto neerslagoverschot geeft de hoeveelheid fosfaat die in de uitspoelingsgevoelige periode uit een bodemlaag weglekt. Opname van fosfaat door het gewas in bodemlagen onder de bouwvoor (0-30 cm) is niet meegenomen. De fosfaattoestanden op beide locaties zijn namelijk meer dan toereikend om de voor de gewasontwikkeling noodzakelijke hoeveelheid fosfaat te leveren. Pas bij lage tot zeer lage fosfaattoestanden wordt de bijdrage uit de ondergrond relevant.

#### *Statistische analyses*

Statistische analyses bij het methodisch laboratoriumexperiment berusten op LSD-waarden (Least square differences) bij een overschrijdingskans van 0,05.

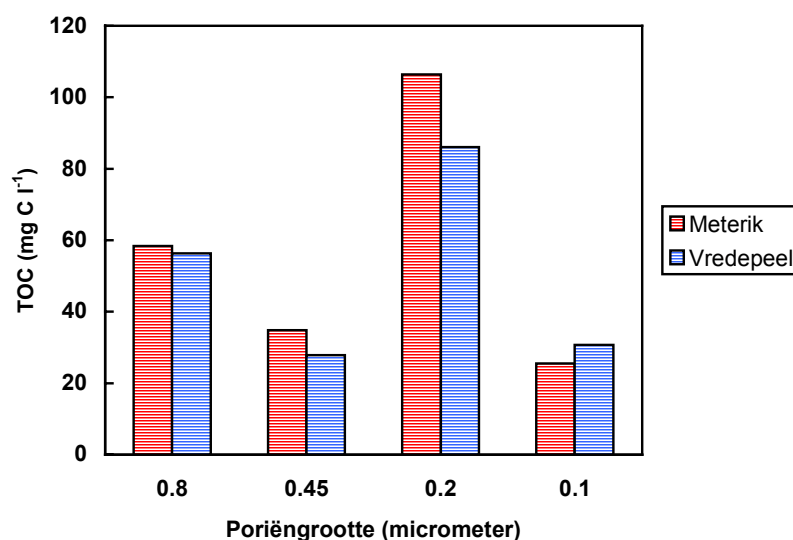
Statistische analyses bij de profielbemonsteringen berusten op ANOVA analyses. Ook bij de profielbemonsteringen worden LSD-waarden (Least square differences) voor de overschrijdingskans van 0,05 tenzij anders aangegeven. Alle analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 6 ed (Payne e.a., 2002).



### 3. Methodisch laboratoriumexperiment

#### 3.1 Karakterisatie P<sub>-1,2</sub> extract

De TOC-gehalten variëren van respectievelijk 26-106 en 28-86 mg C l<sup>-1</sup> in de P-1:2 filtraten van Meterik en Vredepeel (Figuur 2). Deze resultaten zijn goed vergelijkbaar met door Römken e.a. (1999) gepubliceerde data. De data waren afkomstig van gecentrifugeerde bodemvochtmonsters (0,45 µm) van percellen van een kalkarme zandgrond behandeld met kunstmest P en verschillende hoeveelheden varkensdrijfmest gedurende 11 jaren: op 10 cm beneden het maaiveld varieerde de TOC concentratie van 58±14 tot 60±16 mg C l<sup>-1</sup>. Er is geen eenduidige trend aanwezig in de resultaten van de TOC-gehalten met afnemende poriëngrootte van het filter: bij een afnemende poriëngrootte wordt een lagere TOC-gehalte verwacht, omdat organische macromoleculen in toenemende mate worden tegengehouden door het filter. De TOC-gehalten in de 0,1 µm P<sub>-1,2</sub> filtraten van beide kernbedrijven zijn weliswaar lager dan die in de 0,8 µm P<sub>-1,2</sub> filtraten, maar de TOC-gehalten in de 0,2 µm P<sub>-1,2</sub> filtraten zijn hoger. De variatie in de resultaten van de TOC-analyse lijkt dus niet alleen te kunnen worden verklaard door de poriëngrootte van het filter: de meetonzekerheid van de TOC-analyse draagt waarschijnlijk eveneens bij aan de variatie van deze resultaten.



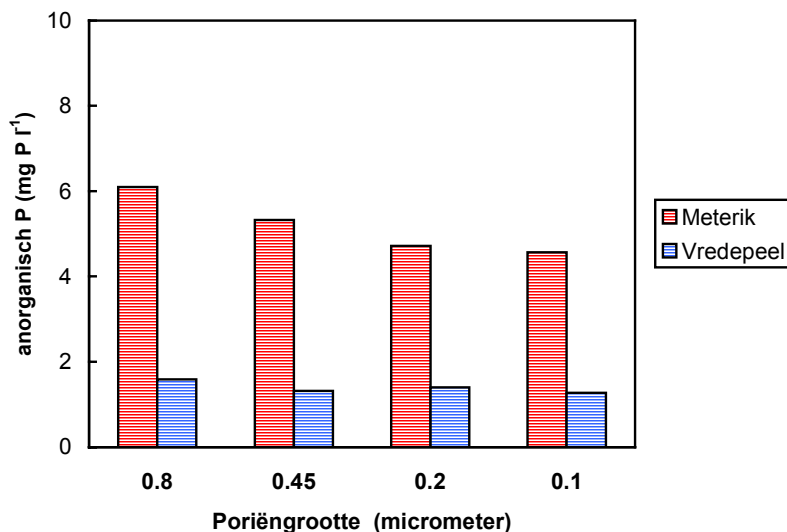
Figuur 2. De TOC-gehalten in de P<sub>-1,2</sub> filtraten van de grondmonsters uit de 0-30 cm bodemlaag van Meterik en Vredepeel.

In Figuur 3 zijn de gehalten aan anorganisch fosfaat in de P<sub>-1,2</sub> filtraten afgebeeld. De anorganisch-P-gehalten variëren van 4,57-6,10 mg P l<sup>-1</sup> voor Meterik en van 1,27-1,59 mg P l<sup>-1</sup> voor Vredepeel.

De verschillen tussen de beide kernbedrijven zijn in overeenstemming met de resultaten van P parameters zoals het P<sub>w</sub>-getal, totaal-P gehalte en de FVG (Tabel 3), en zijn waarschijnlijk het gevolg van een verschillende P bemestingsgeschiedenis.

Er lijkt een trend aanwezig te zijn in de anorganisch-P-gehalten in P<sub>-1,2</sub> filtraten van beide kernbedrijven met afnemende poriëngrootte van het filter: bij een afnemende poriëngrootte wordt een lagere anorganisch-P-gehalte gevonden. Deze trend geeft een indirecte indicatie voor de aanwezigheid van P geassocieerd met organische colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes. Het anorganisch-P-gehalte kan niet afnemen met een afnemende poriëngrootte van het filter als anorganisch P in het 0,8 µm P<sub>-1,2</sub> filtraat

volledig zou bestaan uit opgeloste anorganisch fosfaat, tenzij P is geassocieerd met organische colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes en een bron vormt voor anorganisch P. Tijdens de analyse van anorganisch-P kan hydrolyse optreden van organische P verbindingen als gevolg van de lage pH van de Murphy & Riley (1962) reagentia, zodat het opgelost anorganisch-P-gehalte wordt overschat (Haygarth & Sharpley, 2000). Bij een afnemende poriëngrootte worden organische P verbindingen in toenemende mate tegengehouden door het filter, zodat de bron voor anorganisch P afneemt, en dus het anorganisch-P-gehalte eveneens afneemt.



Figuur 3. De anorganisch-P-gehalten in de P<sub>-1,2</sub> filtraten van de grondmonsters uit de 0-30 cm laag van Meterik en Vredepeel.

## 3.2 Rhizon soil moisture sampler

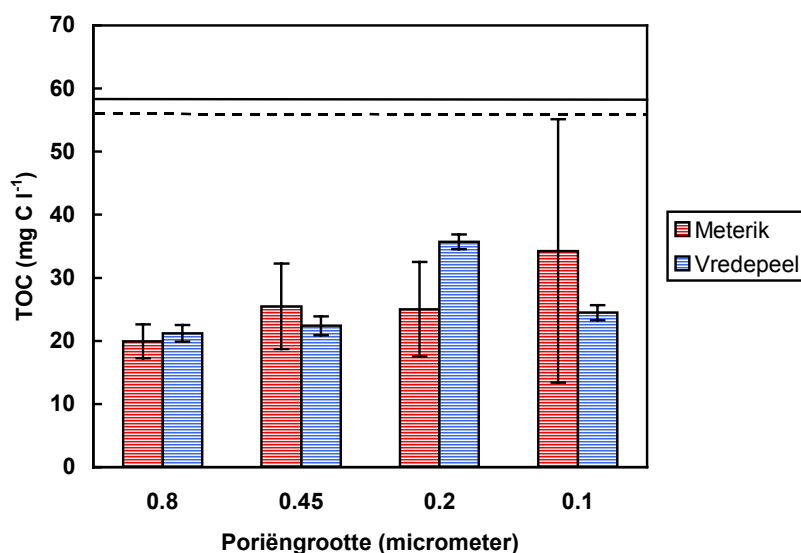
P<sub>-1,2</sub> extract afkomstig van Rhizon sms werd geanalyseerd op totaal oplosbaar koolstofgehalte (TOC), anorganisch fosfaatgehalten (ortho-P) met de flow-injectie en totaal fosfaat (totaal-P) is gemeten met ICP.

### 3.2.1 TOC

In Figuur 4 zijn de TOC-gehalten van de Rhizon sms filtraten van Meterik en Vredepeel afgebeeld. De TOC-gehalten verschillen niet significant en zijn duidelijk lager dan de initiële concentraties in de 0,8 μm P<sub>-1,2</sub> filtraten. Uitzondering hierop vormt het TOC-gehalte van de 0,1 μm Rhizon sms filtraat van Vredepeel.

De gemiddelde TOC concentraties in de Rhizon sms filtraten bedroegen respectievelijk 34-59 en 38-63% van de initiële TOC-gehalten in de 0,8 μm P<sub>-1,2</sub>-filtraten Meterik en Vredepeel. De Rhizon sms lijkt dus als een filter voor organische macromoleculen te werken. De geschatte poriëngrootte van de filterwerking is < 0,1 μm, en komt overeen met de product-specificatie van de poriëngrootte van de Rhizon sms (persoonlijke mededeling F.W. Meijboom).

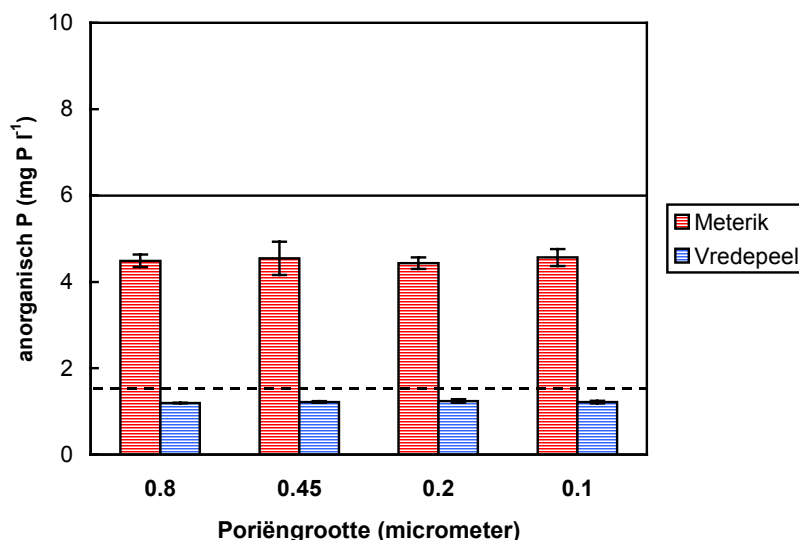




*Figuur 4. De TOC-gehalten in Rhizon sms filtraten van Meterik en Vredepeel (n=5). Een deel van het Rhizon sms filtraat is nogmaals gefiltreerd door een 0,45, 0,2 en 0,1  $\mu\text{m}$  filter. De on- en onderbroken lijnen geven de initiële TOC-gehalten in de 0,8  $\mu\text{m}$  P-1:2 filtraten van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel weer.*

### 3.2.2 Anorganisch fosfaat

In Figuur 5 zijn de anorganisch-P-gehalten afgebeeld. De anorganisch-P-gehalten in de Rhizon sms filtraten verschillen niet significant. De gemiddelde anorganisch-P gehalten in de Rhizon sms bedragen respectievelijk 73-75 en 76-78% van de initiële anorganisch-P-gehalten in de 0,8  $\mu\text{m}$  P-1:2 filtraten van Meterik en Vredepeel. De trend in de TOC-gehalten in de Rhizon sms filtraten wordt bevestigd door de trend in de anorganisch-P-gehalten: er is een indicatie dat de Rhizon sms als een filter werkt voor P geassocieerd met organisch colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes, omdat de anorganisch-P-gehalten lager zijn na filtratie door de Rhizon sms. Organische P verbindingen worden (deels) tegengehouden door de Rhizon sms, en kunnen dus niet als een bron dienen voor anorganisch P tijdens de Murphy en Riley (1962) procedure. De Rhizon sms werkt als een filter met een geschatte grootte van  $<0.1 \mu\text{m}$ , omdat de anorganisch-P-gehalten in de Rhizon sms filtraten niet significant verschillen.



*Figuur 5. De anorganisch-P-gehalten in Rhizon sms filtraten van Meterik en Vredepeel (n=5). Een deel van het Rhizon sms filtraat is nogmaals gefiltreerd door een 0,45, 0,2 en 0,1 µm filter. De on- en onderbroken lijnen geven de initiële anorganisch-P-gehalten in de 0,8 µm P-1:2 filtraten van Meterik en Vredepeel weer.*

### 3.2.3 Totaal-P concentraties in de 0,8 µm P<sub>-1:2</sub> en Rhizon sms filtraten

Het totaal-P-gehalte wordt in de literatuur vaak geschat door middel van ICP-AES analyse (e.g. Chardon e.a., 1997; Koopmans e.a., 2003). De ICP-AES analyse-resultaten in deze studie blijken echter niet bruikbaar, als gevolg van methodische fouten bij uitvoering en worden niet verder behandeld. De organisch-P-gehalten (en dus de totaal-P-gehalten) in de 0,8 µm P<sub>-1:2</sub> filtraten voor filtratie door de Rhizon sms kunnen echter ruwweg worden geschat op basis van de gemeten anorganisch-P gehalten in de 0,8 µm P<sub>-1:2</sub> filtraten en de resultaten van Chardon e.a. (1997). In een studie van Chardon e.a. (1997) bedroeg het percentage organisch P ten opzichte van totaal-P in gecentrifugeerde bodemvochtmonsters (6 µm) in de 0-20 cm bodemlaag van een zandgrond behandeld met 160 ton varkensdrijfmest ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> gedurende 11 jaren circa 10%. De geschatte organische en totaal-P-gehalten in de 0,8 µm P<sub>-1:2</sub> filtraten worden gegeven in Tabel 4.

De organisch-P-gehalten in de Rhizon sms filtraten kunnen ruwweg worden geschat op basis van de volgende veronderstelling: het filtratie-gedrag van TOC geeft een indicatie voor het filtratie-gedrag van organische P verbindingen. De gemiddelde TOC-gehalten in de Rhizon sms filtraten nemen af met respectievelijk 41-66% en 37-60% ten opzichte van de initiële TOC concentraties in de 0,8 µm P<sub>-1:2</sub> filtraten van Meterik en Vredepeel. Voor het schatten van de organisch-P concentraties in de Rhizon sms filtraten worden deze resultaten toegepast. De geschatte organische en totaal-P concentraties in de Rhizon sms filtraten zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4. De geschatte organische en totaal-P-gehalten en gemeten anorganisch-P gehalten in de 0,8  $\mu\text{m}$  P<sub>-1:2</sub> en Rhizon sms filtraten.

Behandeling	Meterik	Vredepeel
0,8 $\mu\text{m}$ P <sub>-1:2</sub> filtraat		
anorganisch-P	6,10†	1,59
organisch-P	0,68‡	0,18
totaal-P	6,78¶	1,76
Rhizon sms filtraat		
anorganisch-P	4,49±0,14	1,20±0,01
organisch-P	0,23	0,07
totaal-P	4,72 (70)#	1,27 (72)
0,45 $\mu\text{m}$ Rhizon sms filtraat		
anorganisch-P	4,55±0,39	1,22±0,02
organisch-P	0,30	0,07
totaal-P	4,84 (72)	1,29 (73)
0,2 $\mu\text{m}$ Rhizon sms filtraat		
anorganisch-P	4,43±0,13	1,24±0,04
organisch-P	0,29	0,11
totaal-P	4,72 (70)	1,35 (77)
0,1 $\mu\text{m}$ Rhizon sms filtraat		
anorganisch-P	4,56±0,19	1,22±0,03
organisch-P	0,40	0,08
totaal-P	4,96 (73)	1,30 (74)

†gemeten; ‡geschat; ¶geschat; #totaal-P als percentage van de initiële geschatte totaal-P concentratie in het 0,8  $\mu\text{m}$  P<sub>-1:2</sub> filtraat

### 3.2.4 Implicaties van het methodisch laboratoriumexperiment

In het methodisch laboratoriumexperiment nemen de geschatte totaal-P gehalten in de 0,8  $\mu\text{m}$  P<sub>-1:2</sub> filtraten van Meterik en Vredepeel af met respectievelijk 27-30 en 23-30% na filtratie door de Rhizon sms. De totaal-P-gehalten in de Rhizon sms filtraten zijn dus niet volledig representatief voor de werkelijk totaal-P-gehalten in de 0,8  $\mu\text{m}$  P<sub>-1:2</sub> filtraten. De grondmonsters van het methodisch laboratoriumexperiment zijn echter afkomstig uit de 0-30 cm bodemlaag. De resultaten kunnen dus niet zonder meer worden geëxtrapoleerd naar dieper gelegen bodemlagen van de beide kernbedrijven waar de Rhizon sms zijn ingegraven omdat in dieper gelegen bodemlagen de relatieve verdeling van de verschillende bodemfracties fosfaat kan afwijken. Chardon e.a. (1997) vonden dat het percentage organisch fosfaat ten opzichte van totaal-P sterk toenam met toenemende diepte. De relatieve afname van de totaal-P-gehalten na filtratie door de Rhizon sms zou in dieper gelegen bodemlagen dus groter kunnen zijn.

Filterwerking van de Rhizon sms lijkt echter niet de oorzaak te zijn van de lage totaal-P-gehalten in het bodemvocht op Meterik en Vredepeel. Een reële mogelijke oorzaak is de afwezigheid van fosfaat op 100 en 50 cm diepte beneden het maaiveld waar de Rhizon sms zijn ingegraven. In Tabel 1 is de gemiddelde FVG in de 0-30, 30-60 en 60-90 cm bodemlagen van verschillende percelen van Meterik en Vredepeel reeds gegeven. De FVG neemt sterk af met toenemende diepte, ofschoon de waarde van

25% tot op 90 cm diepte beneden het maaiveld op Meterik wordt overschreden, terwijl de FVG op Vredepeel alleen in de 0-30 cm bodemlaag de waarde van 25% overschrijdt. Als de FVG in een bodemlaag de waarde 25% overschrijdt, vindt er op de lange termijn uitspoeling van bodemvocht uit deze bodemlaag plaats waarin de anorganisch-P concentratie  $>0.1 \text{ mg P l}^{-1}$  (Van der Zee e.a., 1990). Op de lange termijn worden de dieper gelegen bodemlagen dus verrijkt met fosfaat als gevolg van uitspoeling. Het lijkt echter alsof het fosfaatfront de diepte waarop de Rhizon sms zijn ingegraven op de beide kernbedrijven nog niet heeft bereikt, zodat de totaal-P concentraties in het bodemvocht nog steeds laag zijn. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de analyses op Pw-getal (Tabel 1). Het Pw-getal neemt sterk af met toenemende diepte. Op basis van deze resultaten worden lage fosfaatconcentraties verwacht in het bodemvocht in de bodemlagen waar de Rhizon sms zijn ingegraven.

### 3.2.5 Conclusies

De anorganisch-P-gehalten in de P<sub>-1,2</sub> filtraten van de bovengrond van Meterik en Vredepeel overschrijden de kwaliteitsnormen van het grond- en oppervlaktewater, zoals gehanteerd in het project 'Telen met toekomst', in ruime mate.

Fosfor in de P<sub>-1,2</sub> filtraten is deels geassocieerd met organische colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes. Tijdens de analyse op anorganisch P volgens Murphy en Riley (1962) treedt hydrolyse op van P geassocieerd met organische colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes, zodat de anorganisch-P-gehalten worden overschat.

De Rhizon sms werkt als een filter voor P geassocieerd met organische colloïdale en/of gesuspendeerde deeltjes met een grootte  $>0,1 \mu\text{m}$ ; de filterwerking is waarschijnlijk niet de oorzaak van de lage totaal-P-gehalten in het bodemvocht van Meterik en Vredepeel op respectievelijk 100 en 50 cm diepte beneden het maaiveld, zoals gemeten in januari 2002 (Tabel 2). De oorzaak van de lage totaal-P concentraties is vermoedelijk de volgende: het P front in de bodem heeft deze dieptes nog niet bereikt.

## 4. Profielbemonstering

### 4.1 Beschrijving bodemprofiel

In veld 22 te Meterik en veld 28 te Vredepeel zijn respectievelijk op 11-12-2001 en 29-10-2001 profielkuilen gegraven om een bodemkundige verkenning uit te voeren (Foto's 2 a,b,c en d). De lagen 0-30, 30-40, 40-50 en 50-cm te Meterik bestond uit zwarte en/of donkerbruine eedrlagen (Foto's 2a en 2b).



Foto 2. Profielbemonsteringen bij Meterik (links) en Vredepeel (rechts). Foto 2a (links boven) veld 22, Foto 2b (links onder) veld 35 te Meterik; Foto 2c (rechts boven) veld 28 en Foto 2d (rechts onder) veld 18.

Vanaf 60 cm werd soms nog een eedrlaag van ca. 10 cm gevonden maar meestal geel/oranje materiaal van een C-horizont. De laag 60-70 cm is daardoor zeer wisselend van samenstelling. Soms werd in de laag 70-100 cm een laagje aangetroffen dat wees op een oude begroeiingshorizont of een historische bewerking waarbij materiaal van de C-horizont in de A-horizont terecht is gekomen. Bij de handmatige bemonstering van het profiel viel op dat het steken op een bepaalde plek minder moeite kostte dan op een andere plek.

Het A-horizont van het bodemprofiel te Vredepeel is ondieper (foto's 2c en 2d). Tot 30 cm is de eedrlaag homogeen, daaronder komt of abrupt een overgang naar de C-horizont (Foto 2d) of over 30-50 cm een vergraven horizont met herkenbaar materiaal van de A-horizont naast materiaal van de C-horizont. Resten van wortelkanalen worden aangetroffen. De hydraulische bemonstering is noodzakelijk op Vredepeel, de ondergrond is compact en is handmatig niet verantwoord te bemonsteren.

## 4.2 Bemonstering

De bodemlagen van de profielbemonstering werden geanalyseerd op de fosfaatparameters totaal fosfor (totaal-P), organisch fosfor (organisch-P), ammoniumoxalaat-oxaalzuur extraheerbaar fosfaat (P-ox) inclusief extraheerbaar aluminium (Al-ox) en ijzer (Fe-ox), het Pw-getal en een 1 op 2 extractie met water (P<sub>-1;2</sub>). In geselecteerde lagen werd het Pi-getal en de adsorptie-isotherm bepaald. Om onderlinge vergelijking mogelijk te maken zijn de analysesresultaten van het grondonderzoek gestandaardiseerd naar mg P kg<sup>-1</sup> grond. De analyses zijn uitgedrukt in fosfor (P). Door met 2,29 te vermenigvuldigen wordt fosfaat als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fosforpentoxide) uitgedrukt. Deze uitdrukkingwijze is gangbaar bij grondonderzoek ten behoeve van bemestingsonderzoek. Meetgegevens van de profielbemonstering van Vredepeel worden gegeven in Bijlage I, die van Meterik in Bijlage II.

### 4.2.1 Totaal-P

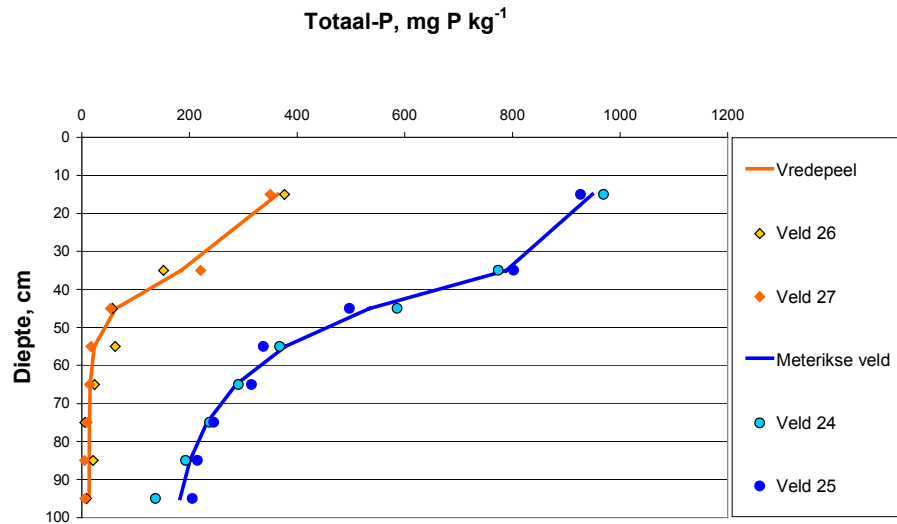
De bouwvoor van Meterik bevat circa 2,6 maal zoveel fosfor als die van Vredepeel. Op beide locaties neemt het gehalte aan totaal-P af met de diepte (Figuur 6). In de laag 0-50 cm neemt het gehalte op beide locaties geleidelijk af met de diepte; er is geen sprake van een blokfront. Op 50 cm diepte is de bodemlaag te Meterik rijker aan fosfor dan de bouwvoor van Vredepeel. Op 1 m diepte is de fosforrijkdom van Meterik gelijk aan die op 30 à 40 cm diepte van Vredepeel. Bodemlagen dieper dan 50 cm zijn op Vredepeel arm aan fosfor; gehalte liggen onder de 20 mg P kg<sup>-1</sup>.

### 4.2.2 Organisch-P

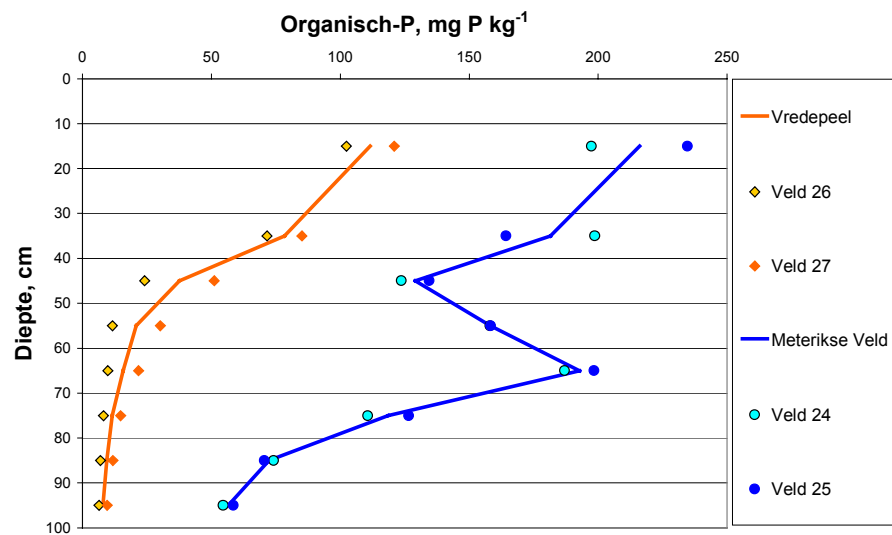
De bouwvoor van Meterik bevat circa 1,9 maal zoveel organisch gebonden fosfor dan die van Vredepeel (Figuur 7). Het organisch-P gehalte neemt af met de diepte tot circa 50 cm diepte. Bij Meterik neemt het organisch-P gehalte in de laag 50-70 cm weer toe om daarna weer af te nemen. De ondergrond van Vredepeel vertoont een continue afname van organisch-P met de diepte. Het organisch-P-gehalte van de bodemlaag 0-80 cm van Meterik is hoger dan die van de bouwvoor van Vredepeel. Het aandeel organisch-P ten opzichte van totaal-P blijkt voor de locaties sterk te verschillen (Figuur 8). Tot 50 cm is het aandeel bij Meterik vrijwel constant (20%); de veldjes 24 en 25 vertonen onderling geen onderscheid. In bodemlagen dieper dan 50 cm neemt het aandeel sterk toe tot circa 60% om daarna weer af te nemen. Op 1 m diepte bedraagt het aandeel circa 40%. De twee velden van Vredepeel vertonen onderling grote verschillen. Het aandeel organisch-P van veld 26 bedraagt in de bouwvoor circa 25%, het vertoont een lichte stijging tot 40 cm diepte tot 35% en vervolgens tot 70 cm constant. Daarna daalt het aandeel tot circa 22% op 1 m diepte. Het aandeel organisch-P verdubbelt van 30% in de bouwvoor naar 60% in de laag 50-60 cm. Daarna neemt het gehalte af tot 40% in de laag 90-100 cm.

### 4.2.3 Fosfaatverzadigingsgraad

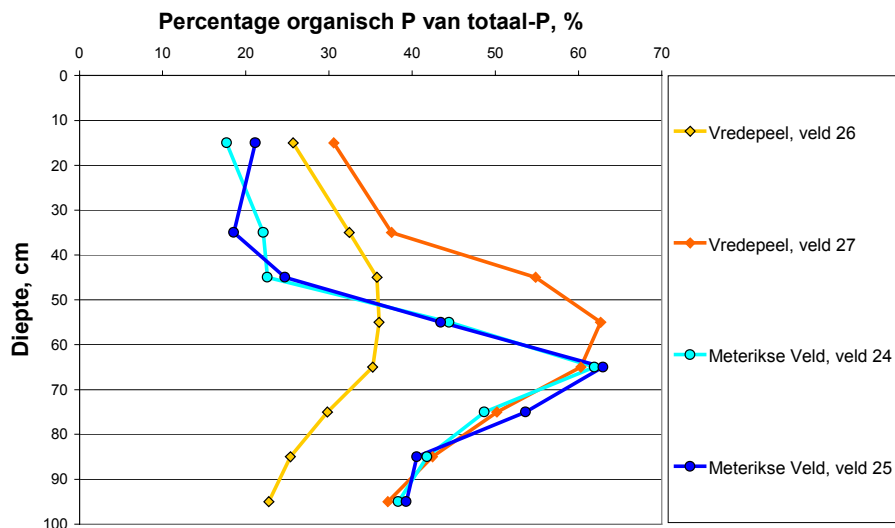
De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) is bepaald in de individuele bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm en in een grondmonster van de bodemlaag 0-100 cm. De laatste bodemlaag is bemonsterd conform het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee e.a., 1990). Beide locaties liggen op dekzand waardoor het protocol Fosfaatverzadigde gronden toepasbaar is. De bodemlaag 0-100 cm te Vredepeel bleek overeen te komen met die welke representatief is voor de bodemlaag tot de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). De GHG van Vredepeel is bepaald op basis van beschikbare metingen van diverse percelen van Vredepeel. Bijlage III verantwoordt de berekening. De grondwaterstand op Meterik zit diep. Gegevens om een GHG te bepalen ontbraken. Een bemonsteringsdiepte van 1 m is ook bij Meterik gebruikt om onderlinge vergelijking mogelijk te maken.



Figuur 6. Het totaal fosforgehalte in mg P kg<sup>-1</sup> van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.



Figuur 7. Het organische fosforgehalte (organisch-P) in mg P kg<sup>-1</sup> van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.



*Figuur 8. Het aandeel organisch-P ten opzichte van het gehalte aan totaal-P in procent van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.*

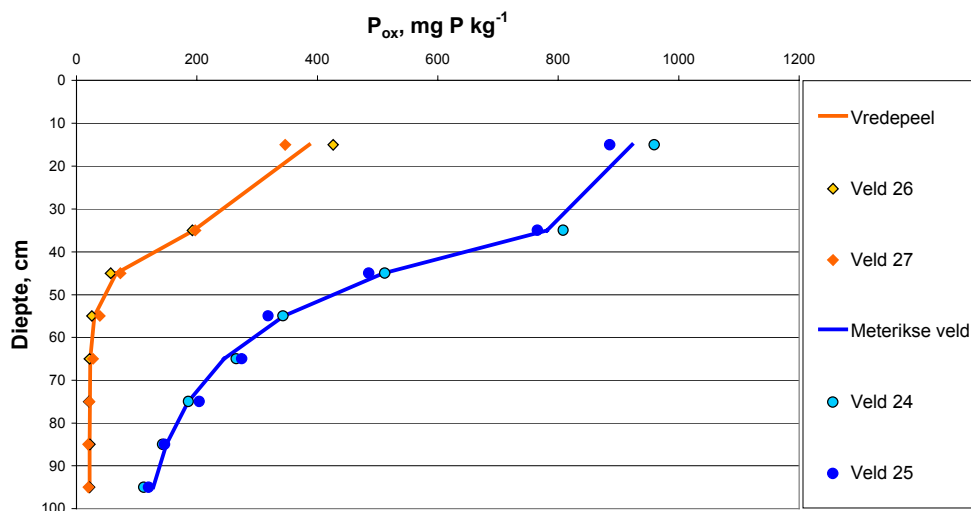
#### 4.2.3.1 P-ox

Het verloop van P-ox met de diepte vertoonde op beide locaties een zelfde trend als die van totaal-P (Figuur 9). De bouwvoor van Meterik bevat circa 2,4 maal zoveel fosfor als die van Vredepeel. Op beide locaties neemt het gehalte aan P-ox in de laag 0-50 op beide locaties min of meer lineair af met de diepte (Figuur 9). Ook bij Pox is er geen sprake van een blokfront. Op 50 cm diepte is de bodemlaag te Meterik rijker aan P-ox dan de bouwvoor van Vredepeel. Op 1 m diepte is de fosforrijkdom van Meterik gelijk aan die op 30 à 40 cm diepte van Vredepeel. Bodemlagen dieper dan 50 cm zijn op Vredepeel arm aan fosfor; gehalte liggen rond de 20 mg P kg<sup>-1</sup>.

#### 4.2.3.2 Al-ox + Fe-ox

Het fosfaatbindend vermogen van dekzand wordt in hoofdzaak bepaald door de concentraties aan met ammoniumoxalaat en oxaalzuur extraheerbaar aluminium (Al-ox) en ijzer (Fe-ox). Figuur 10 geeft het verloop van de som van de concentraties aan Al-ox en Fe-ox in mmol kg<sup>-1</sup> grond met de diepte. Beide locaties hebben in de bouwvoor een vergelijkbaar fosfaatbindend vermogen van circa 45 mmol (Al-ox + Fe-ox). In de ondergrond van Meterik neemt vervolgens het fosfaatbindend vermogen weer toe tot de laag 70-80 cm; daarna is het fosfaatbindend vermogen constant (circa 70 mmol kg<sup>-1</sup>). Het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond in Vredepeel neemt daarentegen af met de diepte. Op GHG diepte (90 à 100 cm) bedraagt het fosfaatbindend vermogen circa 20 mmol kg<sup>-1</sup>.



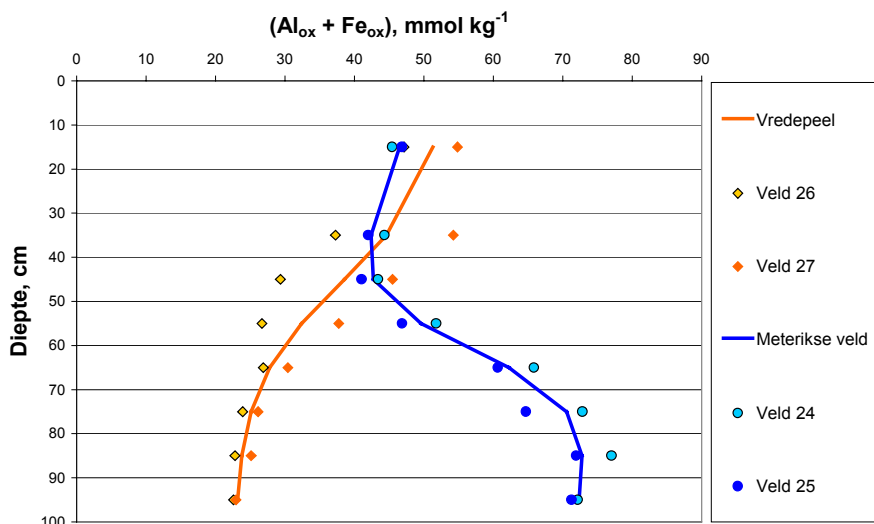


Figuur 9. Het gehalte aan ammoniumoxalaat-oxaalzuur extrabeerbaar P in  $\text{mg P kg}^{-1}$  van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.

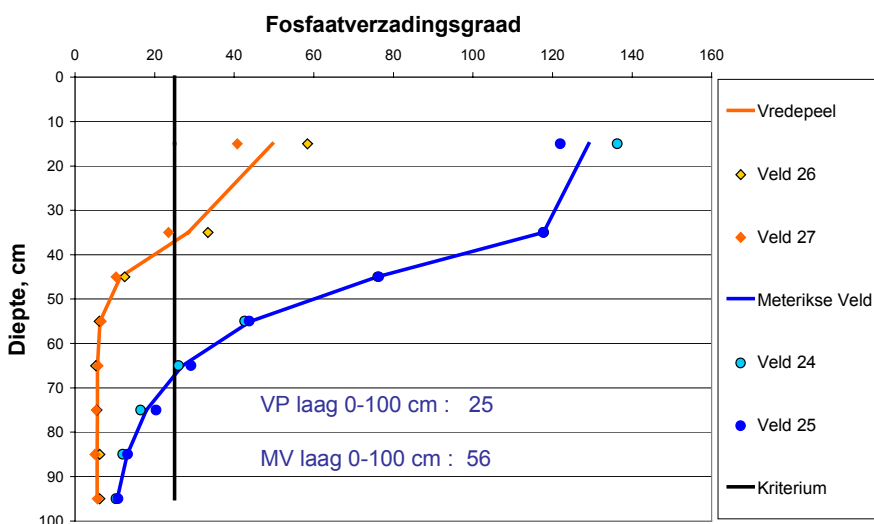
#### 4.2.3.3 Fosfaatverzadigingsgraad (FVG)

Het verloop van de FVG met de diepte wordt gegeven in Figuur 11. De FVG van de bouwvoor is op beide locaties hoog: de bouwvoor van Meterik heeft een FVG van 127%; de FVG van Vredepeel bedraagt 50%. De FVG daalt met toenemende diepte. In de laag 90-100 cm is de FVG te Meterik 11% en te Vredepeel 6%. Het criterium waarboven een bodem als fosfaatverzadigd wordt gedefinieerd indien een representatief grondmonster van de bodemlaag tot de GHG is genomen, bedraagt 25%. Op Meterik wordt dit criterium overschreden in de bodemlagen tot 60-70 cm; het criterium wordt overschreden in de bodemlaag 60-70 cm en dieper. Te Meterik is de bodem in de bewortelbare zone van 0-70 cm fosfaatverzadigd. Omdat echter de GHG te Meterik veel dieper in het profiel voorkomt ( $> 2$  m) en niet tot deze GHG is bemonsterd, mag per definitie de bodem te Meterik niet als fosfaatverzadigd worden gedefinieerd. Bij Vredepeel is de laag 0-30 cm fosfaatverzadigd, in de laag 30-40 cm raakt de fosfaatverzadiging onder de 25%.

Indien de aangescherpte waterkwaliteitsnorm van  $0,05 \text{ mg totaal-P l}^{-1}$  als criterium wordt toegepast, dan kan volgens het protocol voor fosfaatverzadigde gronden de  $\text{FVG}_{0,05}$  uitgerekend. De berekeningswijze is conform Van der Zee e.a., (1990). Er wordt daarbij uitgegaan van dezelfde parameters als die waarvoor het criterium van 25% is afgeleid. De  $\text{FVG}_{0,05}$  is dan 15% ervan uitgaande dat alleen anorganisch fosfaat voorkomt. Bij toepassing van de richtlijn dat 67% van het fosfaat in oplossing anorganisch van aard is, wordt een  $\text{FVG}_{0,05}$  van 10% berekend. Geen van de bodemlagen van Meterik kan aan het criterium van 10% voldoen; bij Vredepeel kunnen alle bodemlagen vanaf 50-60 cm aan dit criterium voldoen.



Figuur 10. De som van de concentraties aan ammoniumoxalaat-oxaalzuur extrabeerbaar aluminium en ijzer ( $Al_{ox}+Fe_{ox}$ ) in  $mmol\ kg^{-1}$  van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.

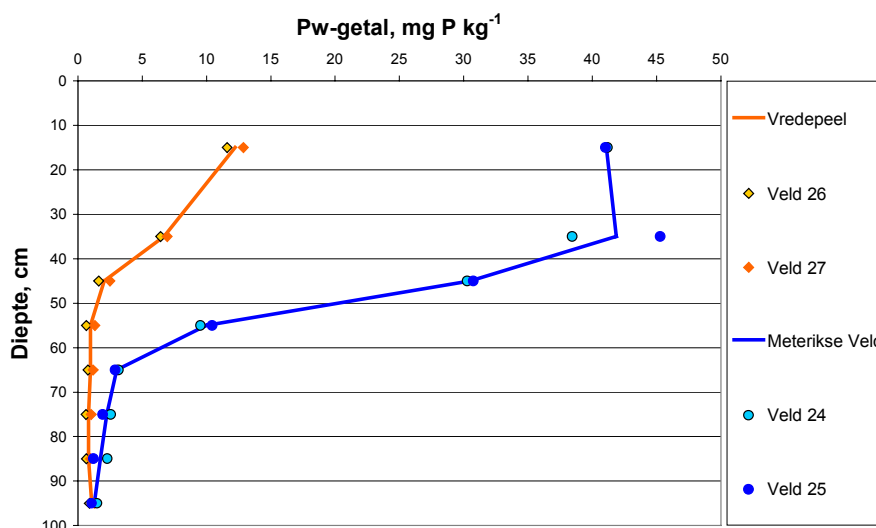


Figuur 11. De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in procent van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel en het criterium voor fosfaatverzadiging.

De bemonstering van de bodemlaag 0-100 cm heeft voor Meterik een FVG van 56% uitgewezen, voor Vredepeel is dat 25% (Figuur 11). Hoewel deze bodemlaag voor Meterik dus niet representatief is voor de bodemlaag tot GHG, wijst deze analyse uit dat er in de bewortelbare zone er zoveel fosfaat aanwezig is, dat het risico groot is op uitspoeling naar diepere bodemlagen. Te Vredepeel wordt net het criterium gehaald. Indien fosfaatoverschotten zouden continueren, dan zal op deze locatie de kans op normoverschrijdende fosfaatuitspoeling toenemen.

#### 4.2.4 Pw-getal

Het bodemfosfaat dat in water oplost, wordt beschouwd als de meest labiele fractie in de bodem. Er zijn twee extracties met water uitgevoerd: Pw-getal en  $P_{1:2}$ . Figuur 12 geeft het resultaat van de analyse op Pw-getal weer. De bij bemestingsonderzoek gebruikelijke dimensie van  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$  is hier omgerekend naar  $\text{mg P kg}^{-1}$ .



Figuur 12. Het Pw-getal in  $\text{mg P kg}^{-1}$  van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.

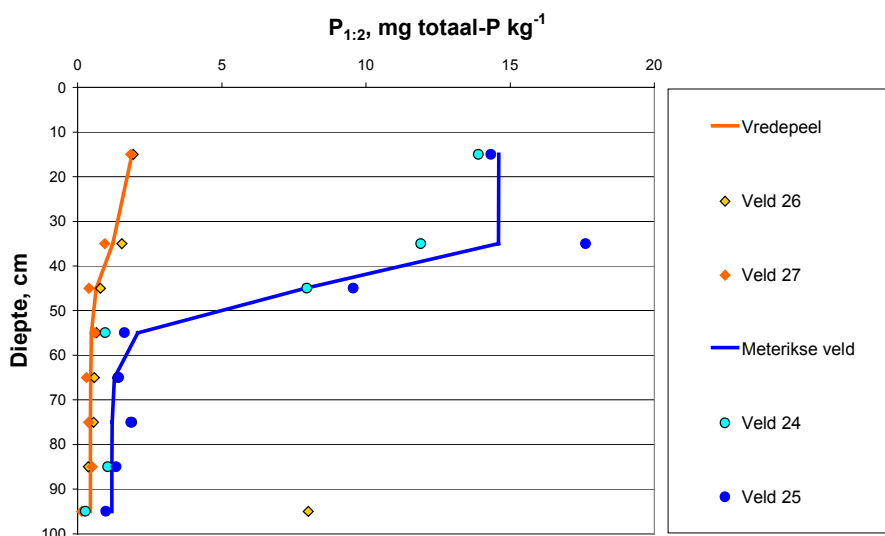
In de bouwvoor 0-30 cm van Meterik bedraagt het Pw-getal bij de bemonstering in oktober 2002  $41 \text{ mg P kg}^{-1}$  ( $116 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$ ) en van Vredepeel  $12 \text{ mg P kg}^{-1}$  ( $31 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$ ). Bij Meterik blijft het Pw-getal constant tot circa 40 cm diepte, daarna neemt de fosfaattoestand als Pw-getal snel af. In de laag 60-70 cm bedraagt het Pw-getal nog  $3 \text{ mg P kg}^{-1}$  ( $8 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$ ); bij Vredepeel circa  $1 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$  ( $3 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$ ). Bij Meterik is er sprake van een blokfront, het verloop van het Pw-getal met de diepte op Vredepeel verloopt geleidelijk.

#### 4.2.5 $P_{1:2}$

In het waterextract van  $P_{1:2}$  zijn zowel aan totaal-P (ICP-AES) als aan anorganisch-P (MRP-P, 'ortho-P') gemeten.

##### *Totaal-P in het waterextract*

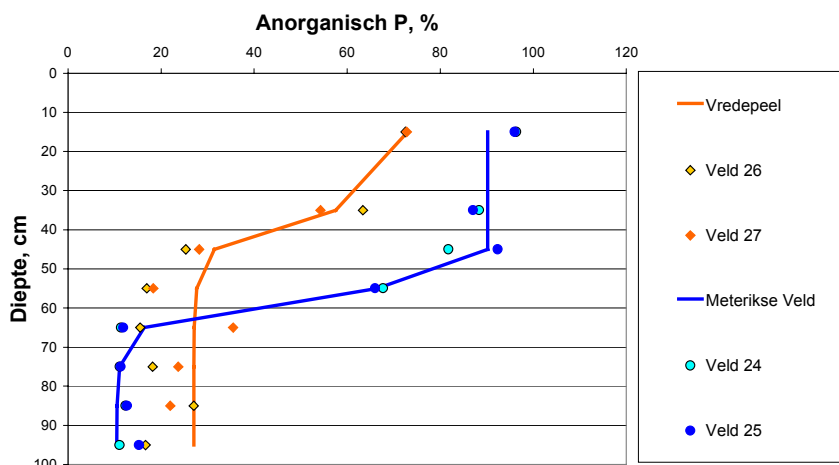
De 1 op 2 extractie met water vertoont eenzelfde trend in totaal-P als die voor het Pw-getal (Figuur 13). Op Meterik is het gehalte in de bodemlaag 0-40 cm constant en neemt in diepere gelegen lagen af; er is sprake van een blokfront. Bodemlagen dieper dan 60 cm hebben een constant gehalte van circa  $1,2 \text{ mg P kg}^{-1}$ . In alle bodemlagen geeft de  $P_{1:2}$  een hogere waarde dan die voor Vredepeel. Vredepeel heeft een waarde van circa  $1,9 \text{ mg P kg}^{-1}$  in de bouwvoor, daaronder neemt de waarde tot in de laag 40-50 cm geleidelijk af. Bodemlagen dieper dan 50 cm hebben vergelijkbare waarden ( $0,5 \text{ mg P l}^{-1}$ ).



Figuur 13.  $P_{1:2}$  in mg totaal-P  $kg^{-1}$  van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.

#### Anorganisch-P

De gehalten aan anorganisch-P zijn uitgedrukt als procent van het totaal-P-gehalten in het waterextract (Figuur 14). Het aandeel anorganisch-P in de waterige extracten van de bodemlagen tot 60 cm diepte is bij Meterik beduidend hoger dan bij Vredepeel. In de laag 40-70 cm neemt het aandeel sterk af tot circa 11%. Bij Vredepeel schommelt het aandeel rond de 25% vanaf 50 cm en dieper.



Figuur 14. Anorganisch-P van de  $P_{1:2}$ -bepaling in procent van het totaal-P-gehalte in het waterextract van de bodemlagen 0-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 en 90-100 cm van de velden 24 en 25 te Meterik en van de velden 26 en 27 te Vredepeel.

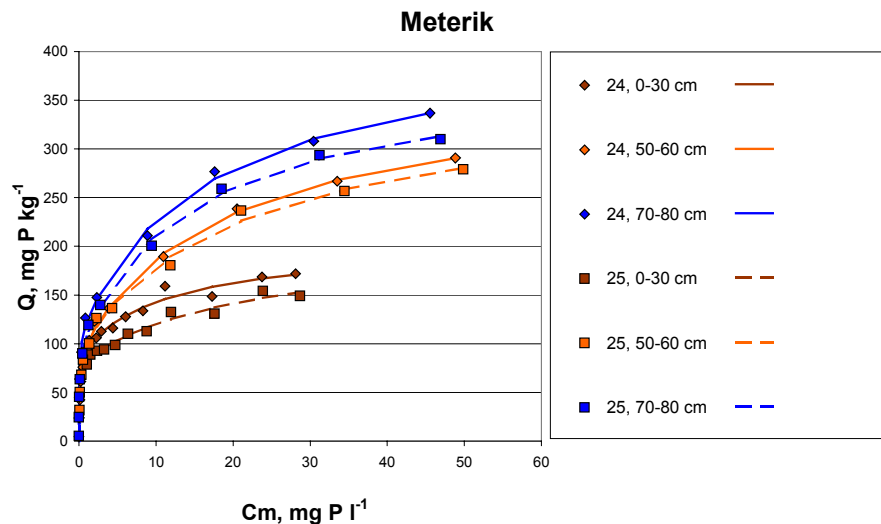
#### 4.2.6 Sorptiekarakteristieken

De adsorptieisothermen zijn in de lagen 0-30, 50-60 en 70-80 cm bepaald. De resultaten voor Meterik worden in Figuur 15 gegeven, voor Vredepeel in Figuur 16. De totale hoeveelheid gesorbeerd fosfaat ( $Q$ ) als functie van de concentratie is weergegeven. Dit is inclusief de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat ( $P_i$ -getal).

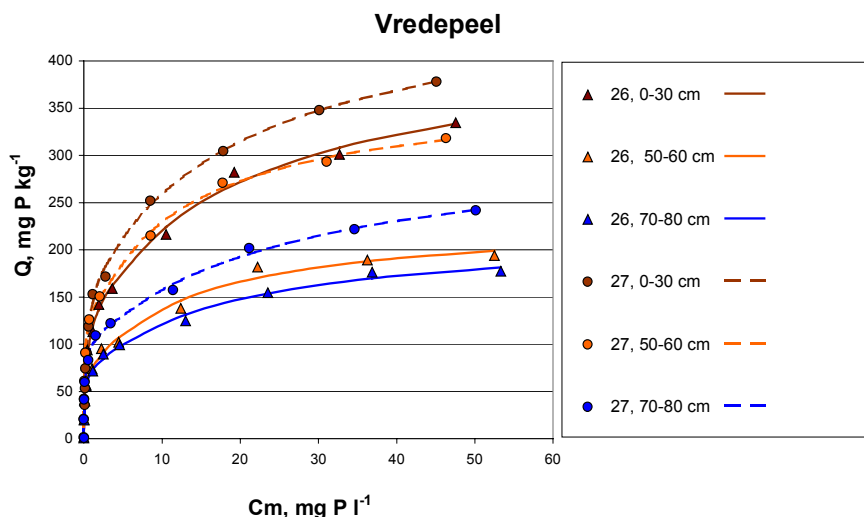
Naar mate de bodemlaag bij Meterik dieper is gelegen, blijkt de adsorptie-isotherm steiler te verlopen. Een steiler verloop betekent een beter bufferend vermogen van die bodemlagen. De adsorptiecurven voor de bouwvoor 0-30 cm heeft nauwelijks een bufferend vermogen: de isotherm stijgt weinig, er wordt dan ook nauwelijks nog fosfaat gebonden. Beide velden – 24 en 25 – vertonen een vergelijkbaar verloop per bodemlaag.

De velden 26 en 27 bij Vredepeel vertonen verschillen in hun fosfaatadsorberend vermogen. Veld 27 legt fosfaat per bodemlaag sterker vast dan veld 26. Naarmate de bodemlagen dieper liggen, neemt het adsorberend vermogen af. De bouwvoor buffert fosfaat beter dan dieper gelegen bodemlagen.

De adsorptiemaxima in de ondergrond van Meterik en Vredepeel (veld 27) zijn vergelijkbaar.



Figuur 15. Adsorptie-isothermen voor Meterik voor drie bodemlagen.  $C_m$  is de concentratie in  $\text{mg P l}^{-1}$  in oplossing na 24 uur schudden,  $Q$  is de hoeveelheid P die in die periode is geadsorbeerd plus de hoeveelheid reversibel gebonden P ( $P_i$ -getal).



Figuur 16. Adsorptie-isothermen voor Vredepeel voor drie bodemlagen.  $C_m$  is de concentratie in  $\text{mg P l}^{-1}$  in oplossing na 24 uur schudden,  $Q$  is de hoeveelheid P die in die periode is geadsorbeerd plus de hoeveelheid reversibel gebonden P ( $P_i$ -getal).

### 4.3 Bodemvocht

Door het droge jaar 2003 is slechts één keer bodemvocht verzameld van Rhizon sms die op 30 cm te Meterik waren geplaatst. Tabel 5 geeft het resultaat.

De gehalten variëren van 5,8 tot 6,8  $\text{mg P l}^{-1}$ . Het verschil tussen totaal-P en anorganisch-P is een indicatie voor opgelost organisch-P. Er blijkt nauwelijks organisch-P in de monsters aanwezig te zijn geweest.

Aanzuren geeft een iets lagere waarde dan niet aanzuren. De hoeveelheid salpeterzuur (één druppel geconcentreerd zuur) kan hier geen verdunningseffect hebben veroorzaakt. De juiste oorzaak voor dit geconstateerde verschil is niet duidelijk.

Tabel 5. Fosforconcentraties in bodemvocht dat met Rhizon sms is verzameld op 30 cm diepte op 26 mei 2003 te Meterik in  $\text{mg P l}^{-1}$ .

Behandeling	Anorganisch-P	Totaal-P
Aangezuurd	5,8	5,9
Niet aangezuurd	6,3	6,8

## 5. Fosfaatvoorraad en fosfaatflux

### 5.1 Fosfaatvoorraad

Het grondonderzoek op verschillende fosfaatparameters geeft inzicht in de voorraad aan fosfaatfracties in de laag 0-100 cm van de bodem op beide locaties (Tabel 6). De totale voorraad is bepaald op basis van het totaal-P-gehalte. De bodemvoorraad te Meterik is hoog. Alleen al in de eerste 30 cm zit 3,2 ton P ha<sup>-1</sup>; in de laag 30-100 cm bedraagt de voorraad 4,0 ton P ha<sup>-1</sup>. De totale voorraad in de laag 0-100 cm is 7,3 ton P ha<sup>-1</sup>. De totale bodemvoorraad van Vredepeel is beduidend lager: 0,6 ton P ha<sup>-1</sup> in de laag 0-30 cm en 1,3 ton P ha<sup>-1</sup> in de laag 30-100 cm. In totaal komt op Vredepeel 1,9 ton P ha<sup>-1</sup> in de laag 0-100 cm voor (Tabel 6).

Met de extractie met zuur ammoniumoxalaat-oxaalzuur wordt reversibel (uitwisselbaar) en irreversibel aan ijzer en aluminium gebonden fosfaat bepaald en een deel van hydrolyseerbaar fosfaat afkomstig van organische stof; dit is de totale voorraad aan gesorbeerd fosfaat. Op Meterik is 85% van de totale voorraad sorbeerbaar fosfaat, op Vredepeel 93%.

Tabel 6. Voorraad aan fosfor (P) in bodemlagen van Meterik en Vredepeel in kg P ha<sup>-1</sup> bepaald met verschillende methoden van grondonderzoek<sup>1</sup>.

Locatie	Laag <sup>2</sup>	Totale voorraad	Pox	Totaal Panorg.	Totaal Porg.	Pw-getal	P <sub>1:2</sub> -anorg	P <sub>1:2</sub> -totaal
Meterik	0-30	3229	2844	2122	1108	109	26	36
	30-100	4078	3384	3287	791	151	50	52
	0-100	7307	6228	5408	1899	260	76	88
Vredepeel	0-30	611	502	369	242	18	2	6
	30-100	1326	1291	953	373	41	5	6
	0-100	1937	1794	1322	615	59	6	12

<sup>1</sup> kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> = 2,29 \* kg P ha<sup>-1</sup>

<sup>2</sup> Laagdikte in cm

De locaties verschillen in de hoeveelheid organisch gebonden fosfaat, niet alleen in de absolute hoeveelheid maar ook in het relatieve aandeel van de totale voorraad. In de bouwvoor 0-30 cm komt in Meterik 1,1 ton organisch P ha<sup>-1</sup> voor; in de laag 30-100 cm 0,7 ton. In totaal komt 1,9 ton P ha<sup>-1</sup> in de laag 0-100 cm voor in een organische vorm. In de bouwvoor 0-30 cm is 34% van het fosfaat organisch, in de laag 30-100 cm 19%.

De hoeveelheden organisch gebonden fosfaat in de bodem van Vredepeel zijn lager; 0,2 ton P ha<sup>-1</sup> in de laag 0-30 cm en 0,4 ton P in de laag 30-100 cm. In totaal komt op Vredepeel 0,6 ton P ha<sup>-1</sup> voor in de organische stof in de laag 0-100 cm. In de bouwvoor komt 40% van het fosfaat in de organische stof voor, in de laag 30-100 cm 28%; gemiddeld over de laag 0-100 cm komt 32% in organisch gebonden vorm voor.

Een geringe fractie van de totale voorraad fosfaat wordt met de water-extracties bepaald. Voor Meterik wordt 3,5% teruggevonden in het Pw-getal en 1,2% in de P<sub>1:2</sub>-extractie; bij Vredepeel wordt 3% teruggevonden in het Pw-getal en 0,6% in de P<sub>1:2</sub>-extractie. Het Pw-getal is een indicatie voor de fractie

bodemfosfaat die makkelijk voor het gewas beschikbaar is; deze methode van grondonderzoek geeft echter niet de totale gewasbeschikbare fractie. Het  $P_{1,2}$ -getal is benadering van het fosforgehalte in het bodemvocht. Omdat de schudverhouding ruimer is dan de verhouding tussen vaste delen en waterige fase in de bodem, wordt meer fosfaat geëxtraheerd dan in de bodemoplossing voorkomt. Daarnaast wordt met een verstoord grondmonster gewerkt waardoor ook vormen in oplossing komen die doorgaans niet in de bodemoplossing aanwezig zijn. De resultaten van de  $P_{1,2}$ -extractie geven dan ook een overschatting van het werkelijke gehalte maar zijn een indicatie voor de hoeveelheid fosfaat die potentieel in de bodemoplossing voor kan komen. Vergelijking van de resultaten van Figuur 14 en Tabel 5 geven aan dat met de  $P_{1,2}$ -extractie circa 2 maal zoveel fosfaat in oplossing komt dan met Rhizon sms wordt bemonsterd op Meterik. Als deze factor van 2 wordt aangehouden, dan is in de laag 0-100 cm op Meterik circa 44 kg P ha<sup>-1</sup> in het bodemvocht aanwezig en op Vredepeel 6 kg P ha<sup>-1</sup>. De vermenigvuldigingsfactor twee is hier een empirisch afgeleide waarde en mag niet als een algemene vuistregel worden gehanteerd. Specifieke sorptiekaracteristieken zullen de mate waarin de bodem de gehalten in de bodemoplossing en in waterige extracten ( $P_w$ -getal,  $P_{1,2}$ ) buffert bepalen.

## 5.2 Kritische $P_w$ -getal

De kritische fosfaattoestand is gedefinieerd als het  $P_w$ -getal waarbij de fosfaatgehalten in het bodemvocht gelijk zijn aan de grens- of streefwaarden die worden gehanteerd voor een goede milieukwaliteit. Deze waarden verschillen. Voor stagnant zoet oppervlaktewater bestaan twee waarden: de grenswaarde van 0,15 mg totaal-P l<sup>-1</sup> en een aangescherpte waarde van 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup>. De streefwaarde voor bodemvocht in dekzanden is 0,4 mg totaal-P l<sup>-1</sup>. Kritische fosfaattoestanden voor de kernbedrijven worden gegeven in Tabel 7. Het betreft berekende waarden. Bij de berekening wordt een aanname gedaan over de fractie van het fosfaat die in organische vorm in de bodemoplossing voorkomt. Gebruikelijk is om hierbij te conformeren aan het standpunt van de Technische Commissie Bodembescherming (TCB). Er wordt dan uitgegaan dat twee-derde van het fosfaat in oplossing van anorganische herkomst is. Met de  $P_{1,2}$ -extractie zijn aanvullende gegevens verkregen over de verhouding tussen de hoeveelheid anorganisch en organische fosfaat die met een extractie met water in oplossing gaan. Ook met deze verhouding is een kritisch  $P_w$ -getal berekend (Tabel 7).

De fosfaattoestand op beide locaties zal *laag* tot *zeer laag* ( $P_w$ -getal 11 – 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>) moeten zijn om het fosfaatgehalte in het bodemvocht niet hoger te doen zijn dan 0,05 mg totaal-P l<sup>-1</sup> (aangescherpte waterkwaliteitsnorm) of 0,15 mg totaal-P l<sup>-1</sup> (streefwaarde stagnant zoet oppervlaktewater). De aanduiding *laag* volgt hier de waardering van de toestand van de grond volgens het huidige bemestingsadvies (Van Dijk, 2003). De streefwaarde voor het grondwater van dekzand (0,4 mg totaal-P l<sup>-1</sup>) wordt overschreden bij een *voldoende* tot *ruim voldoende* fosfaattoestand van de bouwvoor (21-30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>) indien wordt uitgegaan van de TCB normen. Gebaseerd op  $P_{1,2}$ -extract zou de bouwvoor van Meterik maximaal een  $P_w$ -getal van 22 à 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup> mogen hebben om nog aan de grondwaterkwaliteit te voldoen, die van Vredepeel een  $P_w$ -getal van 24 à 27 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>. Berekend met de anorganische P-gehalten van het  $P_{1,2}$ -extract is het kritisch  $P_w$ -getal op beide locaties gemiddeld 30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>.

Het aandeel organisch fosfaat in de bodemoplossing heeft invloed op de waarden van de berekende kritische  $P_w$ -getallen. Hoe hoger het aandeel organisch fosfaat is, des te lager is het kritisch  $P_w$ -getal. De effecten ervan zijn meestal echter niet bijster groot (enkele  $P_w$ -eenheden). Alleen bij zeer hoge fracties opgelost organisch fosfaat in de bodemoplossing (11-24% anorganisch-P) zijn er significante effecten. Zo is voor de laag 70-80 cm voor Meterik een daling van 12-19  $P_w$ -eenheden vastgesteld bij kritische  $P_w$ -getallen afgeleid bij de streefwaarde 0,4 mg P l<sup>-1</sup> (Tabel 7). Bij de berekening wordt geen onderscheid gemaakt in de mogelijke verschillende vormen waarin fosfaat voorkomt in de (bodem)-oplossing. Evenmin wordt rekening gehouden met het feit dat bij de analytische bepaling van het fosfaatgehalte in een waterige milieu bij toepassing van de Murphy en Riley methode (MRP-P) een deel van de organische-P-verbindingen hydrolyseren.



Tabel 7. Kritische fosfaattoestanden (Pw-getal) voor de aangescherpte en niet aangescherpte streefwaarde van stagnant oppervlaktewater (respectievelijk 0,05 en 0,15 mg P l<sup>-1</sup>) en de streefwaarde voor grondwater (0,4 mg P l<sup>-1</sup>) voor drie bodemlagen van Meterik en Vredepeel gebaseerd op de TCB criterium voor anorganisch fosfaat in bodemvocht en op basis van het aandeel anorganische fosfaat bepaald in de 1:2 extractie met water (P<sub>1,2</sub>).

Locatie	Veld	Laag	Pw-getal	Anorga- nische P- fractie in 1:2 extract	Kritische Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>					
					TCB			P <sub>1,2</sub>		
					0,05	0,15	0,4	0,05	0,15	0,4
		cm	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>	%						
Meterik	24	0-30	116	96	4	12	25	6	16	32
Meterik	24	50-60	26	68	4	12	25	4	12	25
Meterik	24	70-80	7	11	4	13	24	1	2	5
Meterik	25	0-30	114	96	4	11	22	6	16	28
Meterik	25	50-60	29	66	4	12	24	4	12	24
Meterik	25	70-80	6	11	5	12	23	1	2	6
Vredepeel	26	0-30	29	73	4	12	27	4	12	29
Vredepeel	26	50-60	2	17	5	11	26	1	3	8
Vredepeel	26	70-80	2	18	4	12	22	1	3	7
Vredepeel	27	0-30	33	73	4	13	24	4	13	32
Vredepeel	27	50-60	4	18	4	12	23	1	3	9
Vredepeel	27	70-80	3	24	5	12	24	1	5	12

Deze kritische Pw-getallen geven een indicatie bij welke fosfaattoestand milieuverantwoord kan worden geteeld. Een voldoende fosfaattoestand zal bij de meeste akkerbouwgewassen, vollegrondsgroentengewassen en bloembollen een bemesting vragen die hooguit - gemiddeld genomen over een bouwplan - gelijk is aan de afvoer van fosfaat met de oogstproducten. Een aantal vollegrondsgroentengewassen (bladgewassen, peen) zullen bij deze fosfaattoestand echter een opbrengst- en/of kwaliteitsderving geven.

### 5.3 Vergelijking bodemvocht en fosfaattoestand

Dezelfde methode van berekening kan worden toegepast om het Pw-getal te bepalen die past bij een gemeten gehalte in het bodemvocht (Tabel 8). De gehalten, die eenmalig vastgesteld zijn in het bodemvocht in de laag 30-40 cm te Meterik, zijn gebruikt om het Pw-getal te berekenen. Qua orde van grootte komt het berekeningsresultaat overeen met het gemeten Pw-getal (Tabel 8). Gerealiseerd dient te worden dat met de P<sub>1,2</sub>-meting in het waterige extract vrijwel uitsluitend anorganisch-P is vastgesteld. De filterende werking van de Rhizon sms is hier dus geen storende factor.

Tabel 8. *Vergelijking van de berekende fosfaattoestand (Pw-getal) met gemeten Pw-getal voor Meterik.*

Behandeling	Anorganisch-P in bodemvocht	Berekend Pw-getal	Gemeten Pw-getal
	mg P l <sup>-1</sup>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>
Aangezuurd	5,8	116	116
Niet aangezuurd	6,3	120	

## 5.4 Fosfaatflux

Binnen het project Telen met toekomst zijn verschillende fosfaatoverschotten opgelegd om aan gestelde doelen te beantwoorden. In de bedrijfssystemen te Meterik wordt in het geheel geen fosfaat gegeven omdat de fosfaattoestand zo hoog is dat er geen teeltkundige noodzaak is om met fosfaat te bemesten. Op Vredepeel is in het synthesesedeel een overschot van 5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voorzien; op het analysesedeel A1 wordt de helft van de afvoer gecompenseerd en in het analysesedeel A2 wordt versneld de fosfaattoestand afgebouwd door nog minder te bemesten. Het fosfaatoverschot op het A1 en A2 werd gericht op respectievelijk -30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en -41 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Dit is één onderdeel van de fosfaatbalans van de bodem.

Een tweede onderdeel van de fosfaatbalans van de bodem wordt gevormd door de hoeveelheid fosfaat die uitspoelt. Op basis van de adsorptie-isothermen en het Pi-getal kan op vergelijkbare wijze als die waarop Tabellen 7 en 8 zijn gebaseerd, berekend worden welk anorganisch fosfaatgehalte in de bodemoplossing past bij een gegeven fosfaattoestand (Pw-getal). Om dan de uitspoeling te berekenen is informatie over de vochtthuishouding van de bodem nodig. In dit rapport beperken wij ons tot een eenvoudige omslagberekening op basis van het neerslagoverschot (hoofdstuk 2.5). Het berekenende neerslagoverschot in de uitspoelingsgevoelige periode (1 oktober tot 1 maart) is gemiddeld over de perioden 2001/2002, 2002/2003 en voor beide locaties 320 mm (data Falentijn Assinck). Het fosforgehalte in het bodemvocht en dit neerslagoverschot geeft een indicatie van de mate van uitspoeling uit een specifieke bodemlaag (Tabel 9). Hierbij is aangenomen dat de verdeling van de hoeveelheid anorganisch fosfaat ten opzichte van het organisch fosfaat overeenkomt met die van de P<sub>1:2</sub>-bepaling. De totale uitspoeling van fosfaat kan dan worden berekend.

De fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor van Meterik (0-30 cm) is hoog: gemiddeld 22,8 kg P ha<sup>-1</sup> (52 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) in het uitspoelingsgevoelige seizoen. Dit is niet zo verbazingwekkend omdat deze bodemlaag een FVG van 136% heeft. De fosfaatuitspoeling uit de bodemlagen 50-60 en 70-80 cm is lager. Op veld 24 is de uitspoeling echter nog hoger dan de richtwaarde van grenswaarde voor stagnant zoet oppervlaktewater afgeleide richtwaarde van 0,45 kg P ha<sup>-1</sup> (1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>). Op veld 25 ligt de berekende uitspoeling onder deze afgeleide richtwaarde.

Tabel 9. Fosfaatuitspoeling uit de bodemlagen 0-30, 50-60 en 70-80 cm voor Meterik en Vredepeel gebaseerd op fosfaatgehalten in bodemvocht ( $C_p$ ) afgeleid uit  $P_i$ -getal en adsorptie-isothermen en bij een neerslagoverschot van 320 mm.

Locatie	Veld	Laag	$C_p$	Totale uitspoeling
		cm	mg P l <sup>-1</sup>	kg P ha <sup>-1</sup>
Meterik	24	0-30	5,770	19,2
Meterik	24	50-60	0,305	1,4
Meterik	24	70-80	0,060	1,7
Meterik	25	0-30	7,900	26,3
Meterik	25	50-60	0,370	1,8
Meterik	25	70-80	0,042	1,2
Vredepeel	26	0-30	0,324	1,4
Vredepeel	26	50-60	0,015	0,3
Vredepeel	26	70-80	0,018	0,3
Vredepeel	27	0-30	0,339	1,5
Vredepeel	27	50-60	0,035	0,6
Vredepeel	27	70-80	0,025	0,3

De bouwvoor en de laag 50-60 cm van Vredepeel lekken gemiddeld ook meer fosfaat dan 0,45 kg P ha<sup>-1</sup>. Daarentegen is de uitspoeling uit de laag 70-80 cm 0,3 kg P ha<sup>-1</sup> en dat is lager dan de afgeleide richtwaarde van 0,45 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>.

De berekende fosfaatgehalten ( $C_p$ ) van Tabel 9 zijn wat hoger dan die welke met Rhizon sms zijn gemeten (Tabel 2). Dit is een gevolg van de gehanteerde methode van berekening, de gemaakte aannames bij de bodemchemische processen en de laboratoriumcondities van de bepalingsmethoden. Dit resulteert in een overschatting bij de berekening van het gehalte aan fosfaat in de bodemoplossing. Bovendien werken de Rhizon sms als een filter (< 0,1  $\mu$ m, zie hoofdstuk 3). Organische-P verbindingen worden deels weggefilterd. De meting kan daardoor de werkelijke uitspoeling te laag aangeven. Verwacht wordt dat de werkelijke gehalten zich tussen deze twee waarden bevinden.

## 5.5 Opslagcapaciteit

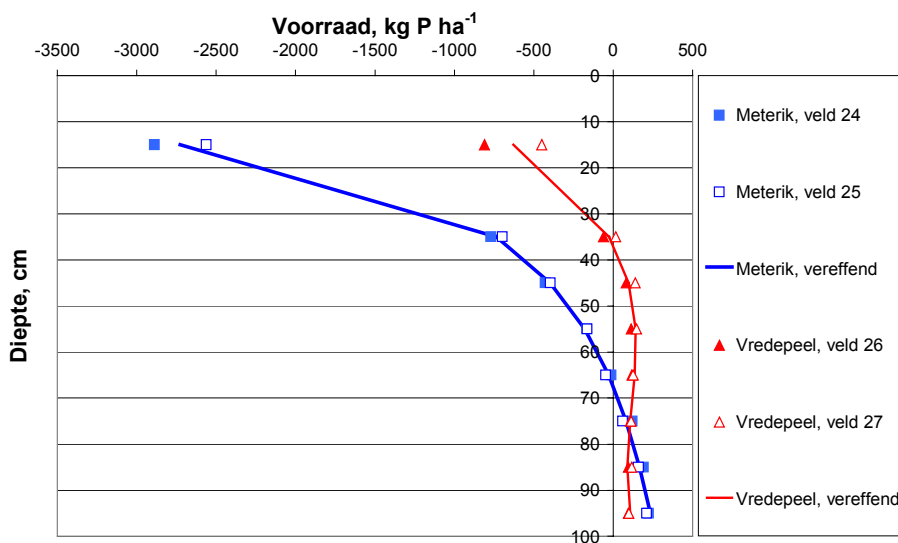
Paragraaf 5.4 geeft voor drie bodemlagen een indicatie van de vracht aan fosfaat die door het bodemprofiel weglekt. Dit weglekken is een min of meer autonoom proces. Bemestingsstrategieën opgelegd in het kader van het project Telen met toekomst kunnen hieraan weinig veranderen. De bodemvoorraden in Meterik zijn hoog en ook die van Vredepeel, met name in de bouwvoor, indien als referentie de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) wordt genomen. Om dat te illustreren is uitgerekend hoeveel fosfaat in bodemlagen aanwezig mag zijn om te kunnen voldoen aan een maximale fosfaatverzadigingsgraad van 25% volgens het protocol voor fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee e.a., 1990). Door hiervan de werkelijk bodemvoorraad aan fosfaat ( $P_{ox}$ ) af te trekken, kan de resterende opslagcapaciteit van de bodem voor fosfaat worden berekend. Indien de getalswaarde negatief is, dan dient fosfaat te worden afgevoerd; indien de getalswaarde positief is dan kan fosfaat worden opgeslagen. Figuur 17 geeft het resultaat van deze berekening.

De bodemlaag 0-70 cm van Meterik is zo zwaar met fosfaat belast dat fosfaat afgevoerd moet worden. Om aan een criterium van hooguit 25% fosfaatverzadiging te kunnen voldoen zou hiervoor 4 ton P per ha afgevoerd moeten worden. Na circa 70 cm diepte neemt op deze locatie de opslagcapaciteit voor fosfaat toe. In de laag 70-100 cm kan nog zo'n 450 kg P ha<sup>-1</sup> worden opgeslagen.

Op Vredepeel is er nog opslagcapaciteit voor fosfaat in bodemlagen dieper dan 35 cm. Tot 35 cm diepte zou  $650 \text{ kg P ha}^{-1}$  afgevoerd moeten worden. In de bodemlaag 35-100 cm kan circa  $650 \text{ kg P ha}^{-1}$  worden opgeslagen.

Figuur 17 illustreert dat op beide locaties de ondergrond nog voldoende opslagcapaciteit heeft om weglekkend fosfaat te kunnen vastleggen uitgaande van een FVG van 25% en daardoor onder de aanname dat  $\alpha$  gelijk is aan 0,5. Dit fosfaat dient dan wel homogeen te worden verspreid over het bodemprofiel. Zodra er sprake is van preferente stroombanen, zoals bijvoorbeeld het optreden van hydrofobe plekken in het bodemprofiel, dan vervalt de grondslag voor het uitvoeren van de berekening. Bij een aangescherpte grenswaarde voor stagnant zoet oppervlaktewater bedraagt de FVG 10% en kan de bodemlaag 0-100 cm bij Meterik geen fosfaat meer opslaan; over de hele bodemlaag dient de fosfaattoestand te worden verlaagd. Bij Vredepeel kan de bodemlaag 50-100 cm gemiddeld dan nog  $124 \text{ kg P ha}^{-1}$  opslaan. Op beide locaties is er een reël gevaar voor het doorslaan van het bodemfilter.

De voorraad in de bodemlaag 0-70 cm te Meterik is zo hoog dat zonder enig ingrijpen op termijn het fosfaat over diepere bodemlagen verdeeld wordt waardoor ook deze bodemlagen met fosfaat worden verrijkt. Dit zelfde geldt in mindere mate ook voor Vredepeel voor de bodemlaag 0-40 cm. De snelheid, waarmee het fosfaatfront door het bodemprofiel beweegt, vergt nader onderzoek. De gehanteerde methoden voor grondonderzoek bieden daarvoor geen eenduidig uitsluitel. Andere methoden van grondonderzoek, een beter inzicht in de sorptiekinetiek van fosfaat in de bodem en in de heterogeniteit van de ondergrond in relatie met een betere kennis van de hydrologie van de bodem zijn nodig om de fosfaatinspoelingsgolf in de tijd verantwoord te kunnen bepalen.



Figuur 17. Voorraad aan fosfaat die in bodemlagen opgeslagen kan worden tot het bereiken van een fosfaatverzadigingsgraad van 25% voor Meterik en Vredepeel.

## 5.6 Fosfaatprocessen

Bij mineralisatie van organisch-P komt anorganisch-P vrij dat deel gaat uitmaken van de voorraad reversibel gebonden fosfaat. Er zijn berekeningen zijn uitgevoerd voor de consequenties van wijzigingen in de voorraad reversibel gebonden fosfaat - het fosfaat dat met ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapier wordt geëxtraheerd - op het Pw-getal te duiden. Voor Meterik is een berekening uitgevoerd uitgaande van een jaarlijkse afvoer van  $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  met oogstproducten en een uitspoeling van

21 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Tevens is een berekening uitgevoerd op basis van een aangenomen grotere voorraad reversibel gebonden fosfaat. Daarbij is aangenomen dat de gemeten voorraad reversibel gebonden fosfaat 15% bedraagt van de totale voorraad. De parameters van de adsorptie-isotherm zijn aangepast aan veranderingen van de voorraad reversibel gebonden fosfaat. Voor Vredepeel is een soortgelijke berekening uitgevoerd eveneens bij een fosfaatafvoer van 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> maar dan bij een uitspoeling van 1,5 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Voor Vredepeel is een voorraad reversibel fosfaat aangenomen die past bij een Pw-getal van 67 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>; dit was de uitgangssituatie voor het bedrijf in 1989. Figuur 18 geeft het resultaat.

In alle situaties wordt een daling van het Pw-getal berekend. Verhoging van de voorraad reversibel gebonden fosfaat bij Meterik geeft een tragere daling van het Pw-getal. Het berekeningsresultaat voor Meterik staat haaks op de praktijkwaarneming. In de periode 1988-heden is er nauwelijks/geen daling van het Pw-getal waargenomen. Verder is de berekende uitgangssituatie bij Meterik lager dan in de veldsituatie werd vastgesteld (Pw-getal 116 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup>). Verhoging van de voorraad reversibel gebonden fosfaat van 110 naar 735 mg P kg<sup>-1</sup> heeft bij aanvang slechts een gering Pw-getal-verhogend effect. Verhoging van deze voorraad heeft vooral betekenis bij voortschrijdende uitputting: de afname van het Pw-getal verloopt minder snel.

Op Vredepeel is in de periode 1988 - heden in de praktijksituatie wel een daling van het Pw-getal waargenomen (Figuur 18). Qua trend komt het berekeningsresultaat redelijk overeen met de praktijkwaarneming vanaf 1988 op hetzelfde veld 26 2.a.2.

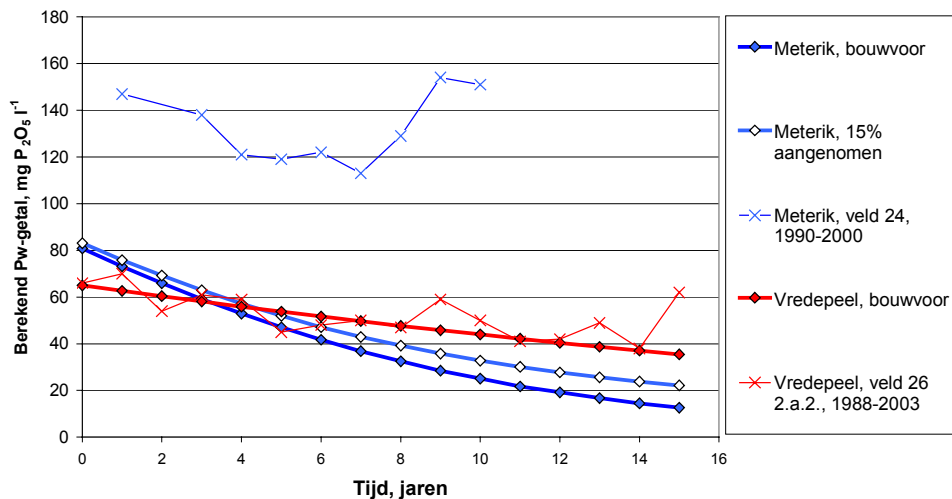
Het berekende verloop van het Pw-getal in de tijd moet als een kwalitatieve illustratie van effecten van wijzigingen in de bodemvoorraad op gewasbeschikbaar fosfaat worden opgevat. Er is nog teveel onzekerheid over de werkelijke totale voorraad reversibel gebonden fosfaat en de sorptiekinetiek van fosfaat in deze bodems. Het voert echter te ver om in dit technisch rapport op deze bodemchemische aspecten in te gaan. Daarnaast is niet met de actuele fosfaatoverschotten en fosfaatuitspoeling gerekend. De berekeningen geven wel een indicatie over de belangrijkste bodemchemische processen in de bodem. In de bodem van Meterik is ten minste één ander bodemproces actief dat dominant bijdraagt aan het instandhouden van de fosfaattoestand dan alleen desorptie van anorganisch-P uit reversibel geadsorbeerd fosfaat. Daarentegen is het verloop van de fosfaattoestand (Pw-getal) bij Vredepeel wel te beschrijven door rekening te houden met de reversibele voorraad aan fosfaat. De werkelijke voorraad aan reversibel gebonden fosfaat lijkt groter te zijn dan de meting heeft uitgewezen.

De resultaten van de profielbemonstering gegeven in hoofdstuk 4.2 hebben uitgewezen dat de voorraad fosfaat groot is en dat hiervan een substantieel deel van organische aard is. Omdat de bodemvoorraad aan totaal-P hoog is, is ook de bodemvoorraad aan organisch gebonden fosfaat aanzienlijk. Die voorraad organisch-P lijkt betekenis te hebben bij de verandering van verschillende fosfaatfracties van de bodem.

Het onderzoek van het bodemprofiel te Meterik heeft uitgewezen dat in de bodemlaag 0-30 cm de voorraad organisch-P 1,1 ton P ha<sup>-1</sup> (2,5 ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) groot is. Bij 2,9% organische stof, een koolstofgehalte van deze organische stof van 58% en een N-elementairgehalte van 1,1 g kg<sup>-1</sup>, bedraagt de C/N-verhouding 15,3. De bodemlaag bevat 193,4 mg organisch-P kg<sup>-1</sup>. De N/P-verhouding (organisch-P!) is dan 5,6. De stikstofmineralisatie voor Meterik is hoog. Voor veld 25 is 120 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> opgegeven (data Kor Zwart). Indien de voorraad aan organische stof in de bodem die verantwoordelijk is voor deze stikstofmineralisatie een N/P-verhouding van 5,6 heeft, dan komt bij een mineralisatie van 120 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> 22 kg P ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (49 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) vrij. De N/P-verhouding van de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm is respectievelijk 5,6, 5,6 en 5,7; de organische stofgehalten nemen met de diepte wat af (2,9% in de laag 0-30 tot 2% in de laag 60-90 cm). De omvang van een dergelijke mineralisatie is toereikend om de uitspoeling van fosfaat te compenseren. Deze berekening maakt het aannemelijk dat de bijdrage van fosfaat uit jaarlijkse mineralisatie mede verantwoordelijk is voor het op peil houden van de fosfaattoestand in de laag 0-30 cm bij Meterik. De bijdrage van de mineralisatie is echter te laag om de bodembalans van fosfaat van de laag 0-30 cm op peil te houden, waarbij netto geen

wijziging optreedt. Er moet een tweede bron zijn die bijdraagt aan het in stand houden van de fosfaat-toestand te Meterik. Waarschijnlijk is de voorraad aan reversibel gebonden fosfaat onderschat.

Bij Vredepeel komt bij een gemiddelde N/P-verhouding van 8,2 en een gemiddelde jaarlijkse stikstof-mineralisatie van  $81 \text{ kg N ha}^{-1}$  (data Kor Zwart) jaarlijks  $9,9 \text{ kg P ha}^{-1}$  ( $23 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) vrij. Deze hoeveelheid is meer dan voldoende om het verlies door uitspoeling en om ruwweg de helft van de gemiddelde jaarlijkse afvoer te compenseren. De daling van het Pw-getal in de tijd bij de opgelegde negatieve fosfaatbalans is bij Vredepeel goed te modelleren. De bijdrage van mineralisatie op deze locatie is naar verwachting dan ook van ondergeschikt belang.



*Figuur 18. Het verloop van het Pw-getal bij een jaarlijkse afvoer van  $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  en een jaarlijkse uitspoeling van  $21 \text{ kg P ha}^{-1}$  bij Meterik en  $1,5 \text{ kg P ha}^{-1}$  bij Vredepeel voor de bouwvoor 0-30 cm.*

## 6. Discussie en conclusies

Het onderzoek is opgezet om de volgende vragen te beantwoorden.

1. Waar zit het fosfaat in de bodem; hoe ziet het fosfaatprofiel eruit?
2. Hoe groot is de kans op fosfaattuitspoeling?
3. Kan de bodem op de kernbedrijven doorslaan als gevolg van de binnen het project Telen met toekomst opgelegde bemestingsstrategieën met fosfaat?
4. Als de bodem door gaat slaan, op welk termijn gebeurt dat dan?
5. Werkt de Rhizon sms als een filter en zo ja, welke fosfaatvormen in bodemvocht of grondwater worden uitgesloten bij bemonstering?

De resultaten gegeven in de hoofdstukken 3, 4 en 5 geven antwoorden op deze vragen maar vergen tevens een kritische beschouwing.

### *Fosfaatprofiel*

De profielbemonstering heeft uitgewezen dat er op de kernbedrijven een geleidelijk verloop is van de fosfaattoestand met de diepte indien gebruik gemaakt wordt van destructie en/of sterk geconcentreerde extractievloeistoffen. Effecten van historische bemesting zijn bij Meterik tot de laag 60-70 cm terug te vinden, bij Vredepeel tot de laag 40-50 cm. Wordt met water geëxtraheerd, dan is er eerder sprake van een blokfront. Dit wijst erop dat de indringing van fosfaat in het bodemprofiel bij lagere fosfaattoestanden minder snel leidt tot een verhoging van de labielere vormen van fosfaat ten opzichte van de fosfaat-bodemfracties die met destructie of sterk geconcentreerde extractievloeistoffen worden bepaald. Het fosfaat wordt in de ondergrond sterker gebonden dan in de bovengrond.

De hoeveelheid fosfaat die met ammoniumoxalaat-oxaalzuur wordt geëxtraheerd is voor de bouwvoor en de bodemlagen 30-40 en 40-50 cm voor beide locaties gelijk aan de hoeveelheid die met totaal-P wordt bepaald. In dieper gelegen lagen op Meterik wordt echter minder fosfaat met P-ox geëxtraheerd dan met totaal-P werd vastgesteld (circa 70%). Dat bij Vredepeel meer P-ox gevonden wordt dan met totaal-P, is een gevolg van de lage totaal-P gehalten. De waarden liggen hier onder de detectiegrens van 30 mg P kg<sup>-1</sup>. Het feit dat P-ox overeenkomt met totaal-P betekent dat niet alleen anorganisch-P maar ook organisch-P met deze extractie wordt bepaald.

De voorraad aan organisch fosfaat in de bodem is hoog. De voorraad neemt af met de diepte maar het aandeel neemt daarentegen toe met de diepte. Bij Meterik duiden de voorraad en het aandeel en de gehalten aan extraheerbaar ijzer en aluminium - respectievelijk Tabel 6 en Figuren 6 en 10 - op een vergraven profiel. Er is geen historisch onderzoek verricht naar de oorzaken van het voorkomen van dit vergraven profiel.

Voor Vredepeel zijn er geen aanwijzingen voor een vergraven profiel. Het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond van Vredepeel is heel beperkt. In de ondergrond is het fosfaatbindend vermogen laag en vergelijkbaar met die van een duinzand.

### *Het risico van fosfaattuitspoeling en actuele fosfaattuitspoeling*

Het risico van fosfaattuitspoeling wordt bepaald door de mate waarin het fosfaatbindend vermogen (vastleggingscapaciteit) van de grond is verbruikt. De fosfaatverzadigingsgraad (verhouding tussen fosfaat en fosfaatbindend vermogen) is bij Meterik zeer hoog; voor de bouwvoor wordt een FVG van meer dan 100% vastgesteld bij opvolgen van het criterium voor fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee e.a., 1990). Voor Meterik is echter ook vastgesteld dat het aandeel organisch gebonden fosfaat aanzienlijk is. De bodem is zwaar verrijkt met fosfaat. Indien het protocol fosfaatverzadigde gronden wordt opgevolgd, dan kan formeel de bodem van Meterik niet als fosfaatverzadigd worden gedefinieerd. Er zou dan tot de GHG moeten zijn bemonsterd en de GHG ligt diep in het profiel te Meterik. De GHG is voor Vredepeel wel te bepalen. De bodem van de velden 26 2.a.2. en 27 2.a.2. balanceert op de grens fosfaatverzadigd (25%). Aanvoer van meer fosfaat dan er wordt afgevoerd leidt

tot verdere verhoging van de FVG. Omdat de ondergrond van Vredepeel fosfaat slecht kan vasthouden - het fosfaatbindend vermogen is laag - kan al een beperkte verdere verhoging van de fosfaattoestand van de bodem hier leiden tot overschrijding van het criterium voor fosfaatverzadiging. Een fosfaatoverschot op de fosfaatbalans van de bodem zal leiden tot verdere opvulling van het fosfaatbindend vermogen. Omdat Vredepeel al balanceert op de grens van fosfaatverzadiging, dient dit te worden voorkomen. De ondergrond kan fosfaat slechter bufferen dan die in Meterik waardoor het risico op fosfaatuitspoeling bij Vredepeel groter is.

Het gegeven dat met P-ox vrijwel alle organisch gebonden fosfaat uit de bodem wordt geëxtraheerd vraagt feitelijk om een zorgvuldige weging van de definitie van fosfaatverzadiging. De grondslag van de definitie is gebaseerd op een aantal bodemchemische afwegingen die allemaal uitgaan van bodemchemische processen van anorganisch fosfaat. Het klakkeloos toepassen van het criterium van 25% fosfaatverzadiging is hier dan ook eigenlijk niet juist als een directe relatie gelegd moet worden met de actuele uitspoeling. De parameter  $\alpha$  van vergelijking (1) is in principe bodemspecifiek. Het vraagt specifiek bodemchemisch onderzoek om deze  $\alpha$  te kunnen bepalen.

De berekende fosfaatflux wijst erop dat voor Meterik gemiddelde elke bodemlaag van het profiel tot tenminste 80 cm diepte meer fosfaat lekt dan  $0,45 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  ( $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ). Voor Vredepeel is dat tot 50-60 cm diepte. De diepte waarop deze uitspoeling optreedt krijgt een specifieke betekenis indien het gerelateerd wordt aan de bewortelingsdiepte. Bij het onderzoek naar de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten (Ehlert e.a. 2000, Ehlert & Van Wijk, 2002, Ehlert e.a., 2003) is vastgesteld dat op de locatie te Meterik een zeer goed wortelend bloemkoolgewas tot circa 60 cm diepte wortels heeft. De specifieke bemonsteringsmethode, die nodig is op Vredepeel om grondmonsters te nemen (Foto 1), vormt een aanwijzing dat op deze locatie gewaswortels niet/nauwelijks dieper zullen gaan dan 50 cm diepte. Fosfaat dat buiten het directe bereik van wortels voorkomt, kan niet door het gewas worden opgenomen. Dit is een kwestie van mm. Bij een goede landbouwpraktijk is het zaak om juist de nutriënten en in het bijzonder fosfaat binnen het bereik van de gewaswortels te houden. Het blijkt dan dat op beide locaties op de overgang van bewortelde en niet-bewortelde bodemlagen al meer dan  $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  uitspoelt.

De berekende flux uit Tabel 9 lijkt in tegenspraak te zijn met de berekende kritische waarden voor het Pw-getal (Tabel 7); de berekende uitspoeling is hoger dan die welke berekend wordt op basis van gemeten fosfaattoestand welke lager is dan de berekende kritische Pw-getal van de bodemlagen 70-80 cm. Dit is echter een gevolg van het opgelegde neerslagoverschot (320 mm) en het opgelegde percentage anorganisch fosfaat in de bodemoplossing. De vuistregel van een uitspoeling van  $0,45 \text{ kg P ha}^{-1}$  ( $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) is afgeleid van een neerslagoverschot van 300 mm en een fosforgehalte van  $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$ .

Op basis van dit onderzoek wordt geconcludeerd dat op Meterik uit de lagen 0-30 en 50-60 cm normoverschrijdende uitspoeling optreedt bij Vredepeel is dat de laag 0-30 cm.

De bodemlaag 0-70 cm van Meterik is zo zwaar met fosfaat belast dat fosfaat afgevoerd moet worden; om aan een criterium van hooguit 25% fosfaatverzadiging te kunnen voldoen moet 4 ton P per ha afgevoerd worden. Na circa 70 cm diepte neemt op deze locatie de opslagcapaciteit voor fosfaat toe. In de laag 70-100 cm kan nog zo'n  $450 \text{ kg P ha}^{-1}$  worden opgeslagen.

Bij een aangescherpte grenswaarde voor stagnant zoet oppervlaktewater van  $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$  bedraagt de FVG 10% en kan de bodemlaag 0-100 cm bij Meterik geen fosfaat meer opslaan; over de hele bodemlaag dient de fosfaattoestand te worden verlaagd. Bij Vredepeel kan de bodemlaag 50-100 cm gemiddeld dan nog  $124 \text{ kg P ha}^{-1}$  opslaan.

Op beide locaties is er een reëel gevaar voor het doorslaan van het bodemfilter.



#### *Bemestingsstrategieën binnen Telen met toekomst*

De fosfaattoestand te Meterik is zo hoog dat het landbouwkundig verantwoord is om over een langere tijd geen fosfaatbemesting te geven. De bodemvoorraad is meer dan toereikend om in de fosfaatbehoefte (dagelijkse vraag en totale opname) voor elk gewas te kunnen voldoen. De fosfaatvoorraad is zo hoog dat onmogelijk op korte termijn aan geen enkele waterkwaliteitsdoelstelling kan worden voldaan. De fosfaatvoorraad is zo hoog dat over langere termijn de laag 0-30 cm veel fosfaat lekt naar onder gelegen bodemlagen. Er is een fosfaatgolf onderweg naar bodemlagen die niet door gewaswortels wordt geëxploiteerd. Deze situatie is landbouwkundig onnodig en zeker niet duurzaam.

De fosfaattoestand te Vredepeel is voor de gekozen bedrijfsystemen voldoende hoog om een strikte vorm van evenwichtsbemesting uit te kunnen voeren; hiermee wordt een aanvoer van fosfaat bedoeld die overeenkomt met de afvoer met de oogstproducten berekend over een bouwplan. Hakvruchten kunnen hierbij wat zwaarder bemest kunnen mits de fosfaatbemesting bij overige gewassen overeenkomstig gekort worden. Bij Vredepeel dient voorkomen te worden dat het fosfaatoverschot positief wordt. De bodem krijgt bij een positief fosfaatoverschot (een verliesnorm groter dan  $0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ) een vanuit milieuhygiënisch opzicht ongewenst hoge fosfaattoestand. Dat wordt nog kritischer als genormeerd wordt volgens de aangescherpte grenswaarde voor stagnant zoet oppervlaktewater.

Door geen fosfaatbemesting uit te voeren, zal de fosfaattoestand gaan dalen. De snelheid waarmee de fosfaattoestand daalt, is afhankelijk van de desorptie-eigenschappen van de bodem (het naleverend vermogen van de bodem). De desorptie-eigenschappen van de bodems van de kernbedrijven zijn onbekend. Uitsluitel over effecten van gewijzigd fosfaatmanagement op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel op de wijziging van de fosfaattoestand op lange termijn is daardoor niet te geven.

#### *Termijn van doorslaan van het bodemprofiel*

Het bodemprofiel kan doorslaan als de voorraad aan fosfaat hoger wordt dan het fosfaatbindend vermogen aan kan.

Het is verleidelijk om de berekende opslagcapaciteit van de verschillende bodemlagen in relatie te brengen met de berekende fosfaatfluxen uit die bodemlagen (paragrafen 5.4 en 5.5.). Zoals in paragraaf 5.5 al is aangegeven, bieden de metingen echter geen basis voor het bepalen van de termijn waarop het bodemprofiel doorslaat. Daartoe moeten aanvullende bepalingen uitgevoerd worden die beter inzicht geven in de totale voorraad aan reversibel gebonden fosfaat en de snelheid waarmee dit fosfaat wordt afgegeven aan het bodem en over de mate waarin dit fosfaat irreversibel wordt vastgelegd. Er zijn aanwijzingen dat voor Meterik de mineralisatie van organisch gebonden fosfaat een belangrijk post vormt bij het in stand houden van de hoge fosfaattoestand (Pw-getal). Een eenvoudige omslagberekening met een post van  $X \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  uitspoeling en een opslagcapaciteit van  $Y \text{ kg P ha}^{-1}$  met een opvultijd van  $Y/X$  jaar gaat dan niet op. Er moeten verschillende aannames gemaakt worden om de tijdsduur te kunnen inschatten (onder meer: is de mineralisatie van fosfaat uit de organische stof in de tijd constant, wordt alleen fosfaat uit de bouwvoor opgenomen, bestaat er een rechtevenredig verband tussen de totale fosfaatvoorraad en uitspoeling. Omdat dergelijke berekeningen alleen goed uitgevoerd kunnen worden met kennis over de werkelijke voorraad reversibel gebonden fosfaat en over de mate waarin organisch gebonden fosfaat via mineralisatie bijdraagt aan de voorraad reversibel gebonden fosfaat en uitspoeling, is een dergelijke omslagberekening niet uitgevoerd.

#### *Bemonstering bodemvocht en grondwater*

Het laboratoriumexperiment heeft uitgewezen dat Rhizon sms filterend werken; deeltjes groter dan  $0,1 \mu$  worden niet bemonsterd. De fosforgehalten die in het veld in 2001 op 100 cm (Meterik) diepte werden bepaald geven een onderschatting van de werkelijke totaal-P gehalten in het bodemvocht omdat het aandeel organisch gebonden fosfaat door filtratie te laag zal zijn.



## Literatuur

- Booij, R., W. van Dijk, B. Smit, F. Wijnands, H. Langeveld, J. de Haan, A. Pronk, J. Schröder, J. Proost, H. Brinks, P. Dekker & P. Ehlert, 2001.  
 Detaillering projectplan 'Telen met toekomst'. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, publicatie nummer 3, 74 pp.
- Buck, A.J. de, F.J. de Ruijter, F. Wijnands, P.L.A. van Enckevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booij, 2000.  
 Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning. Plant Research International rapport 6
- Chardon, W.J., O. Oenema, P. del Castilho, R. Vriesema, J. Japenga & D. Blauw, 1997.  
 Organic phosphorus in solutions and leachates from soils treated with animal slurries. *Journal of Environmental Quality* 26:372-378.
- Ehlert, P.A.I., C.A.Ph. Wijk & W. van de Berg, 2000.  
 Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen, 1. Bemesting en rendement, PAV, Lelystad, projectrapport nummer 25.2.32, 45 p.
- Ehlert, P.A.I. & C.A.P. Wijk, 2002.  
 Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen. 2. Plaatsing in gewasgroepen. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. PPO-AGV Projectrapport nr. 25.2.3.2., ALTERRA projectnummer 317-10195-02.
- Ehlert, P.A.I., C.A.P. Wijk, C.A.P. & P. de Willigen, 2002.  
 Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen. 32. Precisiebemesting. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. PPO-AGV Projectrapport nr. 25.2.3.2., ALTERRA projectnummer 317-10195-02.
- Ehlert, P.A.I. & G.F. Koopmans, 2002.  
 Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven. Een analyse bij de start van het project Telen met toekomst, Plant Research International
- Haygarth, P.M. & A.N. Sharpley, 2000.  
 Terminology for phosphorus transfer. *Journal of Environmental Quality* 29: 10-15.
- Houba, V.J.G., W.J. Chardon & K. Roelse, 1993.  
 Influence of grinding of soil on apparent chemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24: 1591-1602.
- Houba, V.J.G., J.J. van der Lee & I. Novozamsky, 1997.  
 Soil analysis procedures; other procedures (soil and plant analysis, part 5B). Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 217 pp.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, J. Dolfing, O. Oenema, P. van der Meer & W.H. van Riemsdijk, 2003.  
 Wet chemical and phosphorus-31 nuclear magnetic resonance analysis of phosphorus speciation in a sandy soil receiving long-term fertilizer or animal manure applications. *J. Environ. Qual.* 32:287-295.
- McDowell, R.W. & A.N. Sharpley, 2001.  
 Soil phosphorus fractions in solution: influence of fertiliser and manure, filtration and method of determination. *Chemosphere* 45: 737-748.
- Murphy, J. & J.P. Riley, 1962.  
 A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analitica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Payne, R., D. Murray, S. Harding, D. Baird, D. Soutar & P. Lane, 2002.  
 GenStat® for Windows(tm) (6th Edition) – Introduction. VSN International, Herts, UK, ISBN 1-904375-06-5.

- Römken, P., G. Hoenderboom & J. Dolfing, 1999.  
Copper solution geochemistry in arable soils: field observations and model application. *Journal of Environmental Quality* 28: 776-783.
- Schwertmann, U., 1964.  
Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 105: 194-202.
- Sims, J.T., R.R. Simard & B.C. Joern, 1998.  
Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* 27: 277-293.
- Sissingh, H.A., 1971.  
Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. *Plant and Soil* 34: 483-486.
- Sissingh, H.A., 1991.  
Estimation of plant-available phosphates in tropical soils. A new analytical technique. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Nota 235, Haren, Nederland.
- Soil Science Society of America, 1996.  
Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, Madison, 125 pp.
- Sonneveld, C., J. van den Ende & S.S. de Bes, 1990.  
Estimating the chemical compositions of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 by volume extracts. *Plant and Soil* 122: 169-175.
- Steur, G.G.L. & W. Heijink, 1991.  
Algemene begrippen en indelingen. Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50.000. Staring Centrum. Instituut voor onderzoek van het Landelijk Gebied.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990.  
Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting, 69 pp.; Deel II: Technische uitwerking, 25 pp. Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen.
- Zwart, K. & A. Smit, 2002.  
Stikstof- en fosfaatverliezen in akkerbouw en vollegrondsgroententeelt. Projectplan voor het bodemonderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project Telen met toekomst. Plant Research International B.V.

## Bijlage I.

### Overzicht meetgegevens van de profielbemonstering te Vredepeel

Nr.	Locatie	Veld	Laag	P-totaal	Organisch-P	Pw-getal	Volume-gewicht	Pw-getal gemiddeld	Alox	Feox	Pox	Anorganisch-P <sub>1;2</sub>	Totaal-P <sub>1;2</sub>	Pi-getal
			cm	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>
1	Vredepeel	26	0-30	376,8	102,4	29,4	1,108	11,6	38,3	8,8	13,8	1,4	1,93	42,5
2	Vredepeel	26	30-40	152,0	71,6	18,9	1,283	6,4	32,5	4,7	6,2	0,97	1,53	*
3	Vredepeel	26	40-50	57,1	24,1	5,3	1,435	1,6	27,5	1,9	1,8	0,2	0,79	*
4	Vredepeel	26	50-60	62,2	11,6	2,1	1,450	0,6	25,5	1,2	0,8	0,11	0,65	1,7
5	Vredepeel	26	60-70	23,8	9,8	2,5	1,423	0,8	24,9	2,0	0,7	0,09	0,58	*
6	Vredepeel	26	70-80	6,3	8,2	2,1	1,488	0,6	22,6	1,3	0,7	0,1	0,55	0,9
7	Vredepeel	26	80-90	21,2	7	2,1	1,437	0,7	21,6	1,2	0,7	0,1	0,37	*
8	Vredepeel	26	90-100	8,8	6,4	2,9	1,441	0,9	21,2	1,4	0,7	0,09	0,54	*
10	Vredepeel	27	0-30	350,1	120,9	32,9	1,118	12,9	46,5	8,4	11,2	1,34	1,84	37,5
11	Vredepeel	27	30-40	220,8	85,1	19,3	1,216	6,9	49,6	4,7	6,4	0,51	0,94	*
12	Vredepeel	27	40-50	53,6	51,1	7,6	1,333	2,5	43,6	1,9	2,4	0,11	0,39	*
13	Vredepeel	27	50-60	17,2	30,2	4,1	1,367	1,3	36,3	1,5	1,3	0,11	0,6	1,7
14	Vredepeel	27	60-70	14,8	21,7	3,7	1,378	1,2	29,2	1,2	0,9	0,11	0,31	*
15	Vredepeel	27	70-80	10,0	14,8	3,3	1,415	1,0	25,1	1,0	0,7	0,09	0,38	1,3
16	Vredepeel	27	80-90	5,2	11,8	3,3	1,485	1,0	23,9	1,2	0,6	0,11	0,5	*
17	Vredepeel	27	90-100	6,3	9,6	4,1	1,420	1,3	21,8	1,1	0,6	0,12	0,14	*



## Bijlage II.

### Overzicht meetgegevens van de profielbemonstering te Meterik

Nr.	Locatie	Veld	Laag	P-totaal	Organisch-P	Pw-getal	Volume-gewicht	Pw-getal gemiddeld	Alox	Feox	Pox	Anorganisch-P <sub>1:2</sub>	Totaal-P <sub>1:2</sub>	Pi-getal
				mg P kg <sup>-1</sup>	mg P kg <sup>-1</sup>	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup>		mg P kg <sup>-1</sup>				mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>	mmol kg <sup>-1</sup>
20	Meterik	24	30-40	773,9	198,7	106,6	1,211	38,4	15,0	29,4	26,1	10,52	11,9	*
21	Meterik	24	40-50	586,2	123,7	86,4	1,245	30,3	16,8	26,6	16,5	6,5	7,95	*
22	Meterik	24	50-60	368,2	158,1	25,5	1,170	9,5	24,5	27,3	11,1	0,65	0,96	24,9
23	Meterik	24	60-70	291,3	187	8,8	1,217	3,1	32,7	33,1	8,6	0,16	1,4	*
24	Meterik	24	70-80	237,8	110,7	7,2	1,235	2,5	41,2	31,6	6,0	0,21	1,88	4,7
25	Meterik	24	80-90	193,2	74,2	6,4	1,229	2,3	50,4	26,6	4,6	0,13	1,05	*
26	Meterik	24	90-100	137,4	54,6	4,5	1,319	1,5	49,9	22,2	3,6	0,03	0,27	*
28	Meterik	25	0-30	926,6	234,7	114,1	1,213	41,0	14,7	32,2	28,6	13,76	14,33	99,1
29	Meterik	25	30-40	802,6	164,3	120,3	1,159	45,3	13,9	28,1	24,7	15,34	17,62	*
30	Meterik	25	40-50	497,3	134,5	85,6	1,215	30,7	14,9	26,1	15,7	8,83	9,56	*
31	Meterik	25	50-60	337,7	158,3	28,7	1,198	10,4	20,7	26,2	10,3	1,07	1,62	33,5
32	Meterik	25	60-70	315,7	198,4	8,0	1,207	2,9	28,2	32,5	8,9	0,17	1,43	*
33	Meterik	25	70-80	245,2	126,5	5,7	1,284	1,9	34,5	30,2	6,6	0,21	1,85	5,4
34	Meterik	25	80-90	215,2	70,6	3,3	1,201	1,2	46,8	25,1	4,7	0,17	1,34	*
35	Meterik	25	90-100	205,6	58,5	3,3	1,348	1,1	45,2	26,1	3,9	0,15	0,98	*





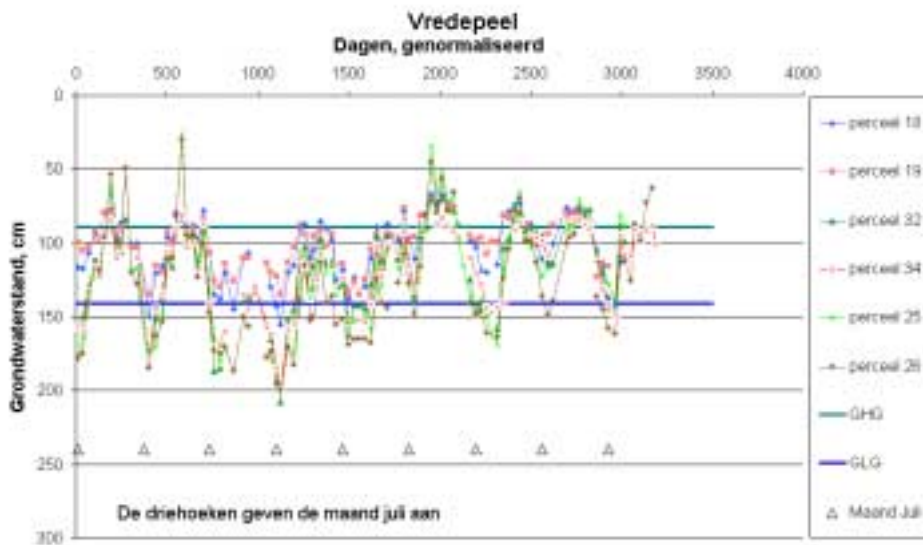
## Bijlage III.

### Berekening van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)

De GHG en GLG wordt bepaald per hydrologisch jaar ( 1 april – 31 maart ) uit het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie en de laagste drie standen uit langjarige waarnemingen (Steur & Heijink, 1991). Hierbij wordt doorgaans gebruik gemaakt van tweemaandelijks metingen van de Dienst Grondwaterverkenning van TNO. Deze berekening is niet zonder meer toepasbaar op de data van Vredepeel afkomstig van PAV-ZON van de jaren 1993-2002. Er zijn meetreeksen van 9 jaar beschikbaar van de percelen 18, 19, 25, 26, 32 en 34. Het aantal metingen per jaar en per perceel varieert echter. In 1993, 1994, 1995 en 1996 is veelal één meting per maand in de uitspoelingsgevoelige maanden beschikbaar. Na 1996 is vaak wekelijks gemeten. In 2001 is weer minder frequent gemeten. Daardoor kan niet conform Steur en Heijink (1991) de GHG en GLG worden berekend. Er is een eenvoudige alternatief toegepast. Data per perceel zijn per maand en per jaar gemiddeld en daarvan zijn de drie hoogste en de drie laagste waarde gebruikt voor de berekening van de gemiddelde GLG en GHG. Het berekeningsresultaat is wordt gegeven in de Tabel B1.

*Tabel B1. Gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) van de percelen 18, 19, 25, 26, 32 en 34 van Vredepeel*

Grond- waterstand	Perceel						Gemiddeld
	18	19	25	26	32	34	
GHG	85	87	87	90	90	96	89
GLG	124	114	153	162	147	144	141



Figuur B1. Grondwaterstanden en de gemiddelde GHG en GLG te Vredepeel.

Er is een grote spreiding in deze berekende waarden (Figuur B1). Veelal is de variantie het dubbele (!) van het gemiddelde. Per perceel per maand kan afwijken de trend in de grondwaterstand van die van omliggende percelen. Die trend wordt (deels) teruggevonden in het Figuur 1 met per perceel gemiddelde per maand gemiddelde grondwaterstanden.

# Reeds verschenen externe rapporten

## Telen met toekomst

24. Fosfaatkarakteristieken van de bodem van de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Een gedetailleerd beeld van het bodemprofiel. P. Ehlert & G. Koopmans. Rapport OV 0404, 2004.
23. Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik. De grondwaterkwaliteit gemeten. A. Smit, K.B. Zwart & J. van Kleef. Rapport OV 0403, 2004.
22. Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel. Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. F.B.T. Assinck & P. Willigen. Rapport OV 0402, 2004.
21. Bemesting en Nmin op gewasniveau op de praktijkbedrijven van Telen met toekomst (2000-2002). F.J. de Ruijter & J. Groenwold. Rapport OV 0401, 2004.
20. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel. Mineralisatie van bodem en gewasresten. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0304, 2003.
19. Grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit op de Telen met toekomst bedrijven in 2002. M. van den Berg & M.M. Pulleman. Rapport OV 0303, 2003.
18. AcTA: Accesdatabase Telen met toekomst – Alterra. A. Smit & K.B. Zwart. Rapport OV 0302, 2003.
17. Relaties tussen nitraat in het grondwater en potentiële indicatoren voor nitraatverlies op de voorloperbedrijven van Telen met toekomst. F.J. de Ruijter. Rapport OV 0301, 2003.
16. Telen met toekomst, voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2002. Anonymus, 2003.
15. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? B.M.A. Kroonen-Backbier & J.A.J.M. Rovers. Rapport WDNB03, 2003.
14. Hoe staat het met de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater? J.A.J.M. Rovers & B.M.A. Kroonen-Backbier, Rapport WDZHZ03, 2003.
13. Startgiften van de stikstofbemesting in tulp. Modelstudie naar de effecten van neerslag op de stikstofbeschikbaarheid in de wortelzone. F.J. de Ruijter. rapport OV 0206, 2002.
12. De Telen met toekomst Energie- en klimaatmeetlat. Methodiek en rekenregels. H.F.M. Mombarg, A. Kool, W.J. Corré, J.W.A. Langeveld & W. Sukkel. Rapport OV 0205, 2003.
11. Waterretentie en waterdoorlatendheidskarakteristieken van 'Telen met toekomst' proefvelden Meterik en Vredepeel. J.A. de Vos, E.W.J. Hummelink & T.S. van Steenbergen. Rapport OV 0204, 2002.
10. Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing model Janssen. Ir. R. Postma. Rapport OV 0203, 2002.
9. Stikstofverliezen door denitrificatie in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, Onderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'. Kor Zwart, Annemieke Smit & Kees Rappoldt. Rapport OV 0202, 2002.
8. Gebruik van Global Positioning System (GPS) binnen 'Telen met toekomst, Plaatsbepaling bij monsternamen op de Voorloperbedrijven'. A.L. Smit. Rapport OV 0201, 2002.
7. 'Telen met toekomst', kansen en knelpunten in zicht: Jaaroverzicht 2001. Anonymus, 2002.
6. Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven van 'Telen met toekomst', Een analyse van de situatie bij de start van het project. Philip Ehlert & Gerwin Koopmans, 2002.
5. Stikstof- en fosfaatverliezen in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, Projectplan voor het bodemonderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik van het project 'Telen met toekomst'. Kor Zwart & Annemieke Smit, 2002.
4. 'Telen met toekomst', voor telers met toekomst: Jaaroverzicht 2000. Anonymus, 2001.
3. Detaillering projectplan 'Telen met toekomst'. Remmie Booij, Wim van Dijk, Bert Smit, Frank Wijnants, Hans Langeveld, Janjo de Haan, Annette Pronk, Jaap Schröder, Jet Proost, Harm Brinks, Peter Dekker & Philip Ehlert, 2001.

2. Projectplan 'Telen met toekomst'. Jacques Neeteson, Rennie Booi, Wim van Dijk, Janjo de Haan, Anette Pronk, Harm Brinks, Peter Dekker & Hans Langeveld, 2001.
1. Voorwaarts met de milieuprestaties van de Nederlandse open-teelt sectoren: een verkenning naar 2020. A.J. de Buck, F.J. de Ruijter, F. Wijnands, P.L.A. van Enkevort, W. van Dijk, A.A. Pronk, J. de Haan & R. Booi, 2000.



Onderzoek en rapportage voor Telen met toekomst zijn uitgevoerd door ALTEERRA

