

Fosfaatparameters van landbouwgrond en bagger ter voorkoming van eutrofiering bij het verondiepen van diepe plassen

Advies bij een helpdeskvraag



**Fosfaatparameters van landbouwgrond en bagger ter  
voorkoming van eutrofiëring bij het verondiepen van diepe  
plassen**

**Advies bij een helpdeskvraag**

**G.F. Koopmans, W.J. Chardon, J. Harmsen en P.A.I. Ehlert**



© 2010 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Inhoud

Samenvatting.....	7
1 Inleiding	9
2 Totaal-fosfaatgehalte in Nederlandse natuur- en landbouwgronden	12
3 Dynamiek van fosfaat in diepe plassen	15
3.1 Fosfaatconcentratie in het water van diepe plassen	15
3.2 Verondiepen van diepe plassen: het risico op fosfaatmobilisatie tijdens en na toepassing van grond en baggerspecie	15
3.2.1 Vulfase	15
3.2.2 Fase na realiseren van afdeklaag en oplevering van de toepassing	16
4 Kwaliteit van grond en baggerspecie	18
4.1 Kwaliteit van grond en baggerspecie als vulmiddel	18
4.1.1 Totaal-fosfaatgehalte in het sediment	18
4.1.2 P:Fe- en Fe:P-verhouding in het sediment	19
4.1.3 Fe:P-verhouding in het poriewater van het sediment	22
4.1.4 Fosfaatconcentratie in het bodemvocht/poriewater	22
4.1.5 Pw-getal	23
4.1.6 P-AL-getal	24
4.1.7 Zure ammoniumoxalaat	24
4.2 Kwaliteit van grond als afdeklaag	26
4.2.1 Algemeen	26
4.2.2 Eisen aan het afdek materiaal	27
5 Conclusies en aanbevelingen	29
Literatuur .....	33

## Samenvatting

De Ministeries van LNV, V&W en VROM stellen gezamenlijk beleid op voor het gedeeltelijk dempen van diepe plassen in het kader van het Besluit Bodemkwaliteit. Punt van zorg is vooral de geïsoleerde plassen (geen uitwisseling met ander water). Hier wil na opvulling van de plassen wel eens een veel te hoog fosfaatgehalte ontstaan waardoor eutrofiëring ontstaat. Bij het ontwikkelen van het beleid dat resulteert in een handreiking komt de volgende vraag naar voren: “Is het mogelijk met een eenvoudige analyse of test van de in de plas te brengen grond of bagger te voorspellen welke invloed de grond of bagger heeft op het oppervlaktewater in de plas?”

De vraag is als helpdeskvraag aan Alterra gesteld. Alterra heeft de vraag beantwoord op basis van *expert judgement* met onderbouwing van informatie uit wetenschappelijke publicaties.

Diepe plassen kunnen niet als geïsoleerde elementen in het landschap worden aangemerkt. Er is altijd beïnvloeding van de directe omgeving. Die beïnvloeding dient te worden betrokken bij het vaststellen of een vulmateriaal voor verondieping van een diepe plas een risico vormt voor een ongewenste verhoging van het fosfaatgehalten van het oppervlakte water van de plas.

De fosfaatvormen die voorkomen in het beoogde vulmateriaal bepalen de methode van grond- of baggeronderzoek die gehanteerd moet worden om enig risico vast te stellen. Onder bepaalde condities is een verhouding tussen totaal fosfaat en ijzer (P/Fe) een bruikbaar instrument om gewenst onderscheid aan te brengen. Deze verhouding is echter niet generiek toepasbaar.

Landbouwgrond, met name de bouwvoor, bevat meestal dusdanig veel fosfaat dat ontraden wordt om dit materiaal als afdeklaag in een diepe plas te gebruiken.





# 1 Inleiding

In Nederland zijn naar schatting meer dan 500 diepe plassen aanwezig in binnen- en buitendijkse gebieden (Osté et al., in voorbereiding). Dergelijke putten zijn in het verleden machinaal gegraven voor de winning van delfstoffen, vooral zand en grind. In het vervolg van deze notitie wordt steeds gesproken over diepe plassen in plaats van (zandwin-)putten waardoor aansluiting op de terminologie uit het beleid ontstaat. Het verondiepen van diepe plassen is een (her)inrichtingsmaatregel om de ecologie, veiligheid voor recreanten en andere functies te verbeteren door middel van het veranderen van de vorm en/of het diepteprofiel van de diepe plas. Deze veranderingen kunnen worden aangebracht door het inbrengen van grond en/of baggerspecie. De grond kan zowel natuur- als landbouwgrond zijn. Natuurgrond kan bijvoorbeeld vrijkomen bij de (her)inrichting van bestaande natuurgebieden. Het afgraven van de nutriëntenrijke bouwvoor van voormalige landbouwgronden om nieuwe natuur te realiseren is een andere bron waarbij grond vrijkomt. Baggerspecie is waterbodem. Dit materiaal komt vrij tijdens het verondiepen van de Nederlandse Rijkswateren, regionale wateren en havens om deze bevaarbaar te houden. Bij het verondiepen van diepe plassen wordt jaarlijks meer dan een miljoen m<sup>3</sup> grond en baggerspecie toegepast (Verheijen et al., 2009). Het inbrengen van deze materialen in diepe plassen is niet zonder risico. Zowel voormalige landbouwgrond als baggerspecie kunnen aanzienlijke hoeveelheden nutriënten (o.a. stikstof en fosfaat), zware metalen en andere verontreinigingen bevatten. Tijdens of na het verondiepen kunnen deze nutriënten en verontreinigingen vrijkomen in de waterfase.

De Ministeries van LNV, V&W en VROM stellen gezamenlijk beleid op voor het (gedeeltelijk) verondiepen van diepe plassen in het kader van het Besluit Bodemkwaliteit (BBk). Punt van zorg is vooral de geïsoleerde plassen waarbij geen uitwisseling bestaat met ander water in de omgeving. Hier ontstaat na opvulling het risico op het optreden van een (veel) te hoge fosfaatconcentratie in de waterkolom wat kan leiden tot eutrofiëring. Bij het ontwikkelen van het beleid dat resulteert in een handreiking is de vraag ontstaan of het mogelijk is om met een eenvoudige analyse of test van de in de diepe plas in te brengen grond of bagger te voorspellen welke invloed de grond of bagger heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit in de plas. Om richting te geven aan de analyse of test en normen voor grond of bagger en afdeklaag moet rekening gehouden worden met andere factoren die invloed uitoefenen op de beschikbaarheid van fosfaat, zoals onder andere organische stof, sulfaat, kwel en hun onderlinge interacties en die met de afdekkende bodemlaag. Een beschrijving van de effecten van deze factoren alsmede de interactie tussen deze factoren aan de hand van beschreven wetenschappelijke resultaten van onderzoek en *expert judgement* wordt gevraagd ter ondersteuning van de beleidsvoorbereiding. Het resultaat moet handvatten aanreiken voor beslissingen om verantwoord grond of bagger te kunnen gebruiken bij het verondiepen van diepe plas. LNV heeft Alterra gevraagd deze beschrijving op te stellen. Deze notitie beantwoordt de helpdeskvraag.

In deze notitie wordt de helpdeskvraag alleen voor fosfaat<sup>1</sup> beantwoord; overige mineralen en anorganische en organische verontreinigingen die bij verondieping van diepe plassen het oppervlakte- en grondwater kunnen beïnvloeden blijven hier onbesproken. In zoete oppervlaktewateren is fosfaat gewoonlijk het limiterende nutriënt voor primaire productie. Verrijking van het water in diepe plassen met fosfaat kan daarom leiden tot eutrofiëring: hierbij ontstaat een overmatige groei van planten, in het bijzonder bepaalde algensoorten, waardoor het water groen kleurt (“groene soep”) en troebel wordt (eutrofiëring). Om deze ongewenste verslechtering van de chemische en biologische waterkwaliteit van diepe plassen te voorkomen zijn door enkele waterschappen beleidsregels opgesteld. Dit zijn regels op het gebied van monitoring tijdens toepassing en meetvoorschriften, het toepassen van de best beschikbare techniek voor het inbrengen van grond en baggerspecie en de kwaliteit van de in te brengen partijen vulmateriaal. Daarnaast bestaan er regels voor de fasering en termijn van realisatie van het verondiepen en de afwerking, oplevering en beheer na toepassing. De maximale duur van de inbrengfase is bijvoorbeeld op 10 jaar gesteld. Bovendien dient vóór de einddatum van de oplevering een afdeklaag van minimaal 0.5 m dikte te worden gerealiseerd.

In het BBk zijn geen normen voor fosfaat opgenomen die gehanteerd kunnen worden voor de beoordeling van de kwaliteit van partijen grond of baggerspecie om deze toe te passen in diepe plassen; dergelijke grootschalige toepassingen vallen onder het BBk. De waterschappen hebben op basis van bestaande literatuur een totaal-fosfaatgehalte van 1,36 g P kg<sup>-1</sup> als maximaal toelaatbaar gehalte voor grond en baggerspecie gedefinieerd om eutrofiëring van het water in diepe plassen te voorkomen. Voor de afdekkende laag wordt naast deze parameter nog een kritische verhouding tussen het totaal-fosfaat- en ijzergehalte in de afdekmaterialen toegepast; de maximaal toelaatbare waarde van deze verhouding is 0,055. Er zijn daardoor criteria voor landbouw- of natuurgrond en voor bagger. Deze criteria zijn generiek gesteld. Of door deze generieke aanpak het risico afdoende beheerst wordt, is mede onderwerp van bespreking in deze notitie.

In deze notitie worden de interne fysische en chemische processen besproken die de waterkwaliteit beïnvloeden tijdens het inbrengen van grond en baggerspecie in een diepe plas. Deze processen blijven zich gedurende lange tijd afspelen, mogelijk zelfs tot decennia na oplevering van de toepassing (o.a. afhankelijk van de samenstelling van de vulmaterialen). Dit omdat de aard van het vulmateriaal waarmee verondiept wordt niet inert zal zijn en niet in evenwicht met de directe omgeving. Bovendien zijn diepe plassen zelden geïsoleerde elementen in het Nederlandse landschap. Er is altijd een vorm van interactie tussen de diepe plassen en de directe omgeving in de vorm van grondwaterstroming, oppervlakkige afspoeling, inspoeling, inzijing of kwel. Deze interactie, in combinatie met de interne fysische en chemische processen in de diepe plassen, zijn uiteindelijk bepalend voor de waterkwaliteit. De interactie tussen de diepe plas en de omgeving wordt eveneens in deze notitie besproken. Daarnaast is het onduidelijk welke betekenis de bovengenoemde parameters (totaal-fosfaat gehalte en P:Fe-verhouding) en de bijbehorende kritische waarden hebben

---

<sup>1</sup> In deze notitie wordt fosfaat generiek gehanteerd. Bij landbouwkundige vraagstukken wordt fosfaat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gebruikt en bij milieuhygiënische vraagstukken fosfaat als orthofosfaat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) of fosfor (P).

voor de praktijk. Met andere woorden: de vraag bestaat op welke wijze deze hierboven genoemde getalswaarden zich verhouden tot het totaal-fosfaatgehalte en P:Fe-verhoudingen in Nederlandse natuur- en landbouwgronden. Daarom wordt in deze notitie een kort overzicht gegeven van de totale fosfaatgehalten en Fe:P-verhoudingen in Nederlandse natuur- en landbouwgronden. Het is onzeker welke waarde toegekend mag worden aan deze parameters voor het voorkómen van eutrofiëring wanneer grond en baggerspecie worden ingebracht in diepe plassen. Deze onzekerheden worden besproken. Bovendien worden aanvullende parameters geïnventariseerd die mogelijk gebruikt kunnen worden om de kwaliteit van grond en baggerspecie te beoordelen in relatie tot het optreden van risico's op fosfaatmobilisatie.

## 2 Totaal-fosfaatgehalte in Nederlandse natuur- en landbouwgronden

In Tabel 1 zijn de totaal-fosfaatgehalten weergegeven die zijn gemeten in de bovenste 10 cm van gras- en maïsland op melkveehouderijbedrijven, akkerbouw en bos. De fosfaatgehalten van de landbouwgronden zijn duidelijk hoger dan in bosgronden. Het fosfaatgehalte van Nederlandse landbouwgronden in gebieden met (intensieve) veehouderij is vaak hoog doordat gedurende lange tijd veel meer fosfaat via dierlijke mest en kunstmest is aangevoerd dan via de oogst van het gewas is afgevoerd. Dit is met name het geval in kalkarme zandgronden. Deze gegevens zijn afkomstig uit studies die meer dan 10 jaar oud zijn. Volgens een trendanalyse die werd uitgevoerd door Schoumans (2007) bestaat er echter geen aanwijzing dat het mestbeleid leidt tot lagere fosfaatgehalten in de bodem.

*Tabel 1. Het gemiddelde totale fosfaatgehalte in de bovenste 10 cm van gras- en maïsland op melkveehouderijbedrijven en bosgrond op zand (de Groot et al., 1997, 1998).*

Landgebruik	Totaal-fosfaat [mg P kg <sup>-1</sup> ]	Minimum [mg P kg <sup>-1</sup> ]	Maximum [mg P kg <sup>-1</sup> ]
Gras en maïs op melkveehouderijbedrijven	892	600	1500
Akkerbouw	552	390	850
Bos	130	70	285

In Tabel 2 zijn de totale fosfaatgehalten in bodemprofielen van verschillende grondsoorten met als landgebruik landbouw weergegeven. De fosfaatgehalten in de bovenste bodemlagen hebben dezelfde orde van grootte als die zijn weergegeven voor de bovenste 10 cm van gras- en maïsland in Tabel 1. Het totaal-fosfaatgehalte van de kalkarme zandgrond neemt sterk af met toenemende diepte; dit is in (veel) mindere mate het geval voor dalgronden, löss en zeeklei. Dit kan waarschijnlijk worden verklaard door het optreden van vertikaal transport van opgelost fosfaat uit de fosfaatrijke bovengrond naar dieper gelegen bodemlagen in de dalgrond, löss en zeeklei en door biotische factoren (wortelgroei en activiteit van dieren (wormen)). De gewichtsverhouding van P ten opzichte van ijzer (Fe) varieert van 0,01-0,26. Dit is grondsoortafhankelijk. Zeeklei heeft een verhouding die hoger is dan 0,01. De meeste ondergronden (buiten het bereik van grondbewerking) hebben waarden lager dan 0,05; bewerkte bovengronden met uitzondering van dalgronden hebben waarden hoger dan 0,05 maar dat is grondsoortafhankelijk en wordt naar verwachting veroorzaakt door verschillen in landgebruik.

Tabel 2. Het gemiddelde totaal-fosfaat- en ijzergehalte en de P:Fe-verbinding (gewichtsbasis) in bodemprofielen van verschillende grondsoorten met als landgebruik landbouw (Blaauw et al., 1988).

Grondsoort	Diepte [cm]	Totaal-fosfaat [mg P kg <sup>-1</sup> ]	Totaal-Fe [g Fe kg <sup>-1</sup> ]	P:Fe [-]	Totaal-fosfaat bodemvocht [mg P L <sup>-1</sup> ]
Kalkarm zand	0-20	544	3,2	0,17	1,04
	20-30	364	2,9	0,12	0,22
	30-40	228	3,2	0,08	0,07
	40-50	145	4,4	0,04	0,04
	50-60	95	5,7	0,02	0,03
	60-70	65	5,9	0,02	0,02
	70-80	46	3,4	0,01	0,02
Zeeklei	0-20	677	24,0	0,03	0,33
	20-30	673	24,9	0,03	0,37
	30-40	571	23,1	0,02	0,15
	40-50	471	20,5	0,02	0,04
	50-60	475	19,7	0,02	0,03
	60-70	497	20,8	0,02	0,03
	70-80	485	18,6	0,03	0,02
Dalgrond	0-25	478	1,9	0,26	20,6
	25-35	340	1,5	0,24	24,0
	35-45	214	1,5	0,15	6,16
	45-55	176	1,4	0,13	2,24
	55-65	172	1,4	0,13	1,32
Loess	65-70 of 75	164	1,6	0,11	0,91
	0-20	708	18,5	0,04	2,54
	20-30	593	20,1	0,03	0,60
	30-40	418	24,6	0,02	0,06
	40-50	388	26,5	0,01	0,04
	50-60	388	27,2	0,01	0,03
	60-70	413	27,2	0,02	0,03
	70-80	435	27,0	0,02	0,03
	80-90	448	26,2	0,02	0,03
90-100	450	26,2	0,02	0,03	

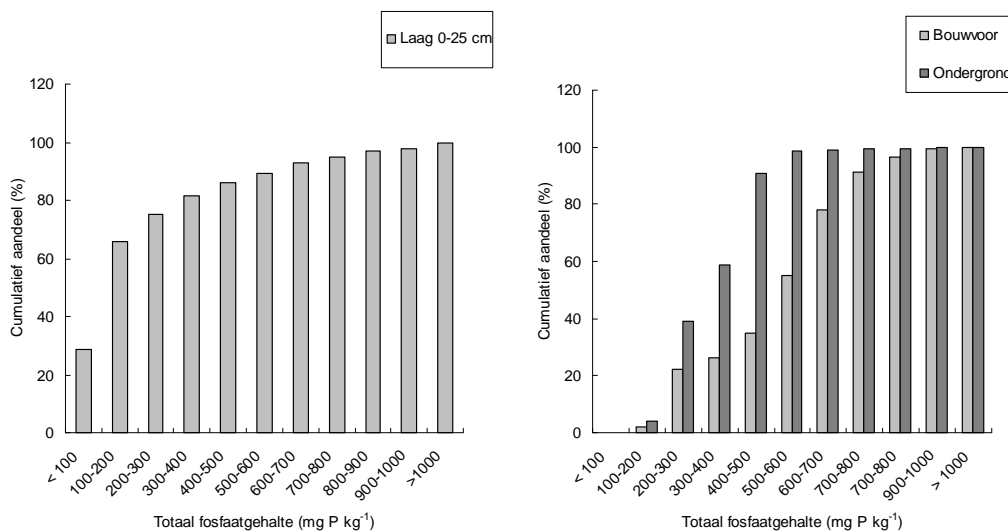
In Tabel 3 zijn de totaal-fosfaatgehalten in bodemprofielen van het Noorderveld en Kloosterveld van het Nationaal Park Dwingelderveld weergegeven. Het fosfaatgehalte in de bovenste 20 cm bevindt zich in dezelfde range als die is gevonden voor de bovenste 10 cm van bosgrond (Tabel 1). Het fosfaatgehalte neemt af met toenemende diepte.

Tabel 3. Het gemiddelde totale fosfaat-, ijzer- en zwavelgehalte en P:Fe-verbinding (gewichtsbasis), Fe-P-verbinding (molbasis) en (Fe-S):P-verbinding (molbasis) in bodemprofielen van het Noorderveld en Kloosterveld van het Nationaal Park Dwingelderveld (Weijters & Bobbink, 2008). Deze gehalten zijn berekend op basis van een dichtheid van de grond van 1.4 kg L<sup>-1</sup>. Bij een negatieve waarde van Fe-S is een waarde van nul gebruikt.

Diepte [cm]	Totaal fosfaat [mg P kg <sup>-1</sup> ]	Totaal Fe [g Fe kg <sup>-1</sup> ]	Totaal S [mg S kg <sup>-1</sup> ]	P:Fe [-]	Fe:P [-]	(Fe-S):P [-]
0-20	248	0,93	253	0,29	2,39	1,32
20-30	171	0,81	204	0,25	3,17	1,83
30-40	149	0,85	195	0,21	4,09	2,77
40-50	92	1,03	131	0,13	8,44	7,00

In Figuur 1 is de cumulatieve frequentieverdeling van het totaal-fosfaatgehalte in de bovenste 25 cm van natuurgronden en in de bouwvoor en ondergrond van landbouwgronden weergegeven. In meer dan de helft van het totale aantal grondmonsters uit natuurterreinen (66%) is het fosfaatgehalte lager dan 100 tot 200 mg P kg<sup>-1</sup> terwijl circa 90% van de grondmonsters een fosfaatgehalte lager dan 500 tot 600 mg P kg<sup>-1</sup> bezit. Slechts 2% van de grondmonsters heeft een fosfaatgehalte hoger dan 1000 mg P kg<sup>-1</sup>. In meer dan de helft van de grondmonsters uit de

bouwvoor van landbouwgronden (55%) is het fosfaatgehalte lager dan 500 tot 600 mg P kg<sup>-1</sup>. In circa 90% van de grondmonsters is het fosfaatgehalte lager dan 700 tot 800 mg P kg<sup>-1</sup>. Slechts 1% van de grondmonsters bezit een fosfaatgehalte hoger dan 1000 mg kg<sup>-1</sup>. In de ondergrond heeft meer dan de helft (59%) van de grondmonsters een fosfaatgehalte lager dan 300 tot 400 mg P kg<sup>-1</sup>.



Figuur 1. De cumulatieve frequentieverdeling van het totaal-fosfaatgehalte in natuurgronden (links) en de bouwvoor en ondergrond van landbouwgronden (rechts) (Ehler, 2005).

In Tabel 4 is het totaal-fosfaatgehalte in baggerspecie afkomstig uit een sloot in de Vlietpolder weergegeven. Het gehalte ligt in dezelfde orde van grootte als het totaal-fosfaatgehalte in landbouwgronden (Tabel 1 en 2). De samenstelling van het slib in deze sloot wordt waarschijnlijk in grote mate bepaald door afslag van land. Onduidelijk is of het fosfaatgehalte in deze baggerspecie representatief is voor baggerspecie afkomstig van andere locaties. Daarvoor dient nader onderzoek uitgevoerd te worden.

Tabel 4. Het totaal-fosfaatgehalte en de hoeveelheid fosfaat, aluminium, ijzer en mangaan die geëxtraheerd kon worden met een zure ammoniumoxalaatoplossing en het organische stofgehalte in baggerspecie uit een sloot in de Vlietpolder (Rietra et al., 2008).

Herkomst	Totaal-fosfaat [mg P kg <sup>-1</sup> ]	P <sub>ox</sub> <sup>1</sup> [mg kg <sup>-1</sup> ]	Al <sub>ox</sub> <sup>1</sup> [g Al kg <sup>-1</sup> ]	Fe <sub>ox</sub> <sup>1</sup> [g kg <sup>-1</sup> ]	Mn <sub>ox</sub> <sup>1</sup> [g kg <sup>-1</sup> ]	FVG <sup>2</sup> [%]	OS <sup>3</sup> [%]
Vlietpolder	654	405	2.22	1.15	0.22	25	41

<sup>1</sup>Ox=oxalaat: de hoeveelheid P, Al, Fe en Mn die geëxtraheerd kunnen worden met een zure ammonium oxalaatoplossing.

<sup>2</sup>FVG=fosfaatverzadigingsgraad; FVG is berekend als P<sub>ox</sub>/0.5\*(Al+Fe)<sub>ox</sub>\*100% (op molbasis).

<sup>3</sup>OS=organische stof.

## **3 Dynamiek van fosfaat in diepe plassen**

### **3.1 Fosfaatconcentratie in het water van diepe plassen**

De fosfaatconcentratie in het water van een diepe plas wordt voor een groot deel bepaald door de kwaliteit van het inkomende water. Daarnaast spelen interne fysische, chemische en biologische processen een belangrijke rol. Dit wordt op uitstekende wijze beschreven door Osté et al. (in voorbereiding) voor diepe meren. Op basis van deze laatstgenoemde studie worden een aantal voorbeelden gegeven van belangrijke externe aanvoerbronnen van fosfaat en interne processen welke de fosfaatconcentratie in de waterkolom van de diepe plas in belangrijke mate kunnen beïnvloeden. Voorbeelden van inkomend water met een grote invloed zijn afstromend regenwater en ondiep grondwater. Dit water is eerst als regen op het land gevallen, waarna het oppervlakkig afstroomt en ondiep uitspoelt naar de plas. De fosfaatconcentratie in dit water is sterk afhankelijk van het gebruik van het omliggende gebied. Zoals reeds is beschreven in Hoofdstuk 2 van deze notitie is het fosfaatgehalte van landbouwgronden veel hoger dan van natuurgronden (Tabel 1, 2 en 3), als gevolg van de decennialange aanvoer van fosfaat op landbouwgronden met dierlijke mest en kunstmest. In het westelijke deel van Nederland kan de aanvoer van fosfaat met diep grondwater belangrijk zijn, omdat het diepe grondwater in dit deel, door geomorfologische oorzaken, vaak voedselrijk is, en de fosfaatconcentratie dus hoog. Er is dan een aanzienlijk risico op het optreden van eutrofiëring. In hoger gelegen delen van Nederland, zoals op de hogere zandgronden, zijn de fosfaatconcentraties vaak lager, maar ook dan niet zonder enig risico op het optreden van eutrofiëring. De fosfaatconcentratie in een diepe plas is naast aanvoer afhankelijk van interne fysische en chemische processen. Voorbeelden van belangrijke processen zijn bezinking van particulier fosfaat en ophoping van organisch materiaal in het diepe sediment en binding van fosfaat aan aluminium- en ijzeroxiden in het sediment en het vrijkomen hiervan.

### **3.2 Verondiepen van diepe plassen: het risico op fosfaatomobilisatie tijdens en na toepassing van grond en baggerspecie**

Voor het verondiepen van diepe plassen kan grond en baggerspecie worden gebruikt. Toepassing van grond en baggerspecie in een diepe plas betekent doorgaans een (extra) fosfaatbelasting (Osté et al., in voorbereiding). Voor het verondiepen kunnen twee verschillende fases worden onderscheiden, namelijk de fase waarin de diepe plas wordt gevuld en de fase na het realiseren van een afdeklaag en oplevering van de toepassing. Deze fases worden in de onderstaande paragrafen besproken.

#### **3.2.1 Vulfase**

De vulfase van een diepe plas met grond en bagger kan, overeenkomstig het BBk, maximaal 10 jaar duren. Een belangrijk onderscheid tussen grond en baggerspecie is de redoxtoestand: tijdens het vullen is de grond nog steeds aeroob terwijl

baggerspecie vaak permanent gereduceerd is. Tijdens het inbrengen van grond en baggerspecie kan fosfaat vrijkomen in de waterkolom door middel van desorptie, solubilisatie, suspendering en consolidatie.

De mate van desorptie of solubilisatie is afhankelijk van de heersende fosfaatconcentratie in het water van de plas. Bij solubilisatie spelen de pH en de kat- en anionensamenstelling van de waterige fractie een bepalende rol. Als deze concentratie lager is dan de evenwichtsconcentratie van de ingebrachte grond en baggerspecie, dan vindt desorptie/solubilisatie plaats tot een nieuw evenwicht wordt bereikt. Omgekeerd kan ingebracht vulmateriaal als een *sink* voor fosfaat fungeren. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven door Schep et al. (2008). Tijdens het verondiepen van een voedselrijke plas met aerobe grond nam de fosfaatconcentratie in het water af, door binding van fosfaat aan de ingebrachte grond. Idealiter zouden parameters die worden gebruikt voor de beoordeling van de kwaliteit van grond en baggerspecie rekening moeten houden met de trofiegraad van het water: voor voedselrijk water is meer fosfaat geoorloofd dan voor voedselarm water.

Een ander proces waardoor fosfaat in de waterfase kan vrijkomen is suspensievorming van kleine particulaire deeltjes met fosfaat tijdens het vullen. Dit kunnen zowel deeltjes van minerale als van organische oorsprong zijn. Kleine colloïdale deeltjes kunnen een stabiele suspensie vormen en bezinken doorgaans moeizaam. Dit fosfaat is niet onmiddellijk beschikbaar voor opname door algen; opname kan alleen plaatsvinden na desorptie van fosfaat vanaf het oppervlak van de minerale deeltjes of door mineralisatie van de organische fosfaatdeeltjes.

Als laatste proces wordt consolidatie (inklinken) van de vulmaterialen genoemd als bron voor fosfaat in de bovenstaande waterkolom. Tijdens dit proces wordt het poriewater met het daarin opgeloste fosfaat uit het vulmateriaal gedrongen en raakt het toegepaste materiaal gezet (Oirschot, 1990; Steenkamp et al., 1994, citaat in Osté et al.). Volgens de studie van Verheijen et al. (2009) leidt het uittreden van poriewater meestal niet tot een verhoging van de fosfaatconcentratie, omdat het vrijgekomen fosfaat snel opnieuw bindt aan ijzeroxiden in de bovenste laag van het sediment of aan zwevend stof.

### **3.2.2 Fase na realiseren van afdeklaag en oplevering van de toepassing**

Grond is tijdens het inbrengen in diepe plassen nog steeds aeroob, terwijl baggerspecie vaak permanent gereduceerd is. De redoxtoestand van de grond neemt na het vullen op termijn af, als gevolg van de mineralisatie van organisch materiaal door micro-organismen en als gevolg van chemische processen. De verschillende processen bij verlaging van de redoxpotentiaal komen in een bepaalde volgorde voor, welke afhankelijk is van de sterkte van de beschikbare oxidatoren en de hoeveelheid en kwaliteit van het aanwezige organische stof wat doorgaans als belangrijkste reductor optreedt en chemische reductoren. Organische stof is in verondiepte plassen waarschijnlijk in niet-limiterende hoeveelheden aanwezig, omdat met name baggerspecie maar ook toplagen van landbouw- en natuurbodems veel organisch materiaal bevatten (Tabel 4).

In natuurlijke systemen is zuurstof de sterkste oxidator maar onder bepaalde condities zal ook rekening gehouden moeten worden met nitraat en sulfaat. De zuurstofconcentratie in het poriewater van de grond zal dus als eerste van alle



mogelijke oxidatoren afnemen. Zuurstof wordt slechts langzaam aangevuld vanuit de atmosfeer omdat transport van zuurstof door de vulmaterialen een traag proces is, als gevolg van de langzame diffusie van zuurstof in water en in het bijzonder in het sediment. Na het verdwijnen van zuurstof treedt denitrificatie op waarbij nitraat doorgaans wordt omgezet in stikstofgas; de nitraatconcentratie in het poriewater neemt dus af. Bij heterogene verdeling van oxidatoren en reductoren in het sediment kan onvolledige omzetting optreden hetgeen dan leidt tot de vorming van het broeikasgas  $N_2O$ . Vervolgens treedt reductie van  $Fe^{3+}$  naar  $Fe^{2+}$  en van  $Mn^{4+}$  naar  $Mn^{2+}$  op. Hierbij nemen de concentraties van Fe en Mn in de het poriewater toe. Fosfaat, wat in sterke mate bindt aan amorfe ijzer- en mangaanoxiden, komt door het oplossen van ijzer- en mangaanoxiden vrij in het poriewater (Loeb et al., 2008). Dit fosfaat kan door middel van diffusie of massastroming - opwaarts - in de richting van de waterkolom worden getransporteerd. De volgende stap is sulfaatreductie waarbij sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide. Dit proces kenmerkt zich door een afname van de sulfaatconcentratie in het poriewater. Ijzerreductie en sulfaatreductie treden vaak gelijktijdig op, omdat ijzerreductie kinetisch wordt gelimiteerd door de lage oplosbaarheid van ijzeroxide. Het gevormde sulfide kan met ijzer uit ijzeroxiden een ijzersulfidemineraal vormen, bijvoorbeeld  $FeS$  of  $FeS_2$ . Dit ijzer is dan niet langer beschikbaar om fosfaat te binden. De aanwezigheid van sulfaat en het vervolgens optreden van sulfaatreductie kan de nalevering van fosfaat aan het poriewater nog verder versterken; dit verschijnsel wordt sulfaat-geïnduceerde eutrofiëring genoemd (Lamers et al., 1998). Een verhoogde sulfaatconcentraties in het poriewater van de vulmaterialen kan voorkomen, bijvoorbeeld door het optreden van sulfaatrijke kwel of door diep grondwater met een hoge sulfaatconcentratie als gevolg van de oxidatie van pyriet onder invloed van nitraat in de ondergrond (Postma et al., 1991).

## 4 Kwaliteit van grond en baggerspecie

### 4.1 Kwaliteit van grond en baggerspecie als vulmiddel

#### 4.1.1 Totaal-fosfaatgehalte in het sediment

Het door de waterschappen genoemde totaal-fosfaatgehalte en de bijbehorende kritische waarde van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$  zijn afkomstig uit een studie van Boers en Uunk (1990). In deze studie werd voor twee zoetwatermeren in Nederland en vijf buitenlandse meren (Denemarken en Zweden) het netto interne fosfaatnaleverende vermogen van het sediment geschat. Deze schattingen werden gerelateerd aan gemeten waarden van het totaal-fosfaatgehalte in het sediment door middel van lineaire regressie-analyse. Uit de regressievergelijking bleek een fosfaatnalevering van  $0 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  overeen te komen met een totaal-fosfaatgehalte in het sediment van  $1,36 \pm 0,4 \text{ g P kg}^{-1}$ . Indien het totaal-fosfaatgehalte werd gecorrigeerd voor de hoeveelheid lutum werd een waarde van  $5,3 \pm 0,8 \text{ g P kg}^{-1}$  lutum afgeleid. Als de kritische waarde van  $1,36 \text{ g kg}^{-1}$  wordt gebruikt voor het beoordelen van de kwaliteit van natuur- en landbouwgronden dan zijn nagenoeg bijna alle partijen grond acceptabel voor toepassing in diepe plassen (Tabel 1, 2 en 3 en Figuur 1). Dit kritische gehalte lijkt dus een beperkt effect te hebben op de acceptatie van grond. Volgens Verheijen et al. (2009) overschrijdt het totaal-fosfaatgehalte van sedimenten van de monitoringslocaties in de Rijkswateren wél het kritische gehalte van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$ . Voor regionale water is dit niet bekend. Partijen baggerspecie uit de Rijkswateren zijn dus niet acceptabel voor toepassing in diepe plassen.

Een aantal kritische kanttekeningen kunnen worden gemaakt bij de toepassing van deze parameter:

- Een totaal-fosfaatgehalte van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$  in het sediment van zoetwatermeren kwam in de studie van Boers en Uunk (1990) overeen met een interne fosfaatnalevering uit het sediment van  $0 \text{ g P m}^{-2} \text{ jr}^{-1}$ . Een nalevering van  $0 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$  lijkt een strenge eis te zijn. Zoetwatersystemen bezitten een vermogen om te gaan met een beperkte mate van interne fosfaatnalevering. Deze toelaatbare interne fosfaatnalevering is o.a. afhankelijk van het gewenste trofieniveau van het oppervlaktewater en van de externe fosfaatbelasting (Osté et al., in voorbereiding). Bij het accepteren van een bepaalde mate van interne nalevering wordt het bijbehorende totaal-fosfaatgehalte zelfs nog hoger dan  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$  (Boers en Uunk, 1990). Voor natuur- en landbouwgronden heeft dit geen gevolgen, omdat nagenoeg alle partijen grond reeds geaccepteerd zouden worden bij het lagere kritische fosfaatgehalte van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$ . Voor baggerspecie kan dit wel gevolgen hebben, omdat het totale fosfaatgehalte van sedimenten van de monitoringslocaties in de Rijkswateren het kritische gehalte van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$  overschrijdt (Verheijen et al., 2009).
- Het is onduidelijk welke betekenis het kritische fosfaatgehalte van  $1,36 \text{ g P kg}^{-1}$  heeft voor het optreden van risico's op fosfaatnalevering uit natuur- en

landbouwgronden wanneer deze gronden worden ingebracht in diepe plassen. In de bovengrond van natuur- en landbouwgronden heersen gewoonlijk geoxideerde omstandigheden terwijl diepere lagen van aquatische sedimenten permanent gereduceerd zijn. Na toepassing van natuur- en landbouwgrond in diepe plassen zal de redoxtoestand op de lange termijn afnemen. Het is echter de vraag of de effecten hiervan op de mobilisatie van fosfaat uit deze gronden vergelijkbaar zijn met die in aquatische sedimenten. In natuur- en landbouwgronden bindt fosfaat niet alleen aan ijzeroxiden, maar ook aan aluminiumoxiden en komt fosfaat voor in calciumfosfaatmineralen. Deze laatste twee fosfaatvormen zijn niet gevoelig voor veranderingen in de redoxtoestand.

- Het totaal-fosfaatgehalte geeft slechts een zeer beperkte indicatie van de beschikbaarheid van fosfaat. Dit kan worden geïllustreerd met de gegevens die zijn weergegeven in Tabel 2; het totaal-fosfaatgehalte in de bovengrond van dalgronden wijkt niet of slechts in beperkte mate af van de gehalten in de overige grondsoorten, maar de totaal-fosfaatconcentraties in het bodemvocht van de dalgronden zijn vele malen hoger. Met andere woorden: een vast totaal fosfaatgehalte van de grond heeft niet dezelfde betekenis voor alle grondsoorten in termen van fosfaatbeschikbaarheid zoals die zijn gemeten in het bodemvocht.

#### 4.1.2 P:Fe- en Fe:P-verhouding in het sediment

De P:Fe-verhouding en de hierbij horende kritische waarde van 0,055 (gewichtsbasis) zijn eveneens afkomstig uit de bovengenoemde studie van Boers en Uunk (1990). Het geschatte interne fosfaatnaleverend vermogen van het sediment van zeven zoetwatermeren werd in deze studie gerelateerd aan de P:Fe-verhouding. Deze verhouding werd gebaseerd op de totaalgehalten van fosfaat en ijzer, die werden gemeten in het sediment en werd berekend op gewichtsbasis. Fosfaat kan in sterke mate binden aan ijzeroxiden. In de diepere lagen van aquatische sedimenten heersen permanent gereduceerde omstandigheden; hierdoor wordt  $\text{Fe}^{3+}$  in deze ijzeroxiden gereduceerd tot  $\text{Fe}^{2+}$  waardoor zowel ijzer als het gebonden fosfaat vrijkomen in het poriewater van het sediment. Bij een toenemende P:Fe-verhouding neemt het risico op fosfaatmobilisatie uit het sediment naar de bovenstaande waterkolom als gevolg van gereduceerde omstandigheden dus toe (Loeb et al., 2008). In de studie van Boers en Uunk (1990) bleek een P:Fe-verhouding van 0,052 overeen te komen met een netto interne fosfaatnalevering van  $0 \text{ g P m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ .

In een recente studie van Geurts et al. (2008) werd het verband onderzocht tussen de Fe:P-verhouding (molbasis) in aquatische sedimenten en de fosfaatconcentratie in de bovenstaande waterkolom van 145 veenmeren in Nederland, Ierland en Polen. Bij een Fe:P-verhouding (molbasis) lager dan 10 werden verhoogde fosfaatconcentraties tot circa  $0,9 \text{ mg P L}^{-1}$  in de waterkolom gevonden. Volgens de auteurs duidt dit op mobilisatie van fosfaat uit het sediment naar de waterkolom. In andere studies werden voor de Fe:P-verhouding (molbasis) vergelijkbare waarden gevonden waarbij mobilisatie van fosfaat optrad; de waarden van deze verhouding in studies van Jensen

et al. (1992), Ramm & Scheps (1997) en Maassen et al. (2005) varieerden van 6 tot 12.

Er is een belangrijk onderscheid tussen de grondslagen van de studies van Boers & Uunk (1990) en Geurts et al. (2008). In de studie van Boers & Uunk (1990) werd de P:Fe-verhouding gerelateerd aan het interne fosfaatnaleverende vermogen van aquatische sedimenten; dit is een dynamische parameter, en is een maat voor de hoeveelheid fosfaat die met de tijd vrijkomt uit het sediment in de waterkolom. In de studie van Geurts et al. (2008) werd de Fe:P-verhouding gerelateerd aan de fosfaatconcentratie in de waterkolom. Dit berust meer op een evenwichtsbenadering. Een kritische kanttekening hierbij is dat de fosfaatconcentratie duidelijk geen maat is voor de hoeveelheid fosfaat die op termijn nageleverd kan worden. Voor de beoordeling van de kwaliteit van grond en baggerspecie is zowel het fosfaatnaleverende vermogen als de fosfaatconcentratie die in de waterkolom kan ontstaan van belang. De Fe:P-verhouding van 10 (molbasis) van Geurts et al. (2008) is in deze notitie omgerekend naar een P:Fe-verhouding op gewichtsbasis, om deze parameterwaarde te kunnen vergelijken met de P:Fe-verhouding van Boers & Uunk (1990). Ondanks het verschil in grondslag tussen beide studies blijkt de waarde van de P:Fe-verhouding van Geurts et al. (2008) na omrekening verrassend goed overeen te komen met die van Boers & Uunk (1990), namelijk 0,06 (Geurts et al., 2008) versus 0,052 (Boers & Uunk, 1990).

De Fe:P-verhouding kan eventueel worden gecorrigeerd voor de aanwezigheid van zwavel. In gereduceerde sedimenten kan mineraalvorming van gereduceerd Fe met zwavel (FeS of FeS<sub>2</sub>) plaatsvinden. Hierdoor is in gereduceerde sedimenten minder ijzer beschikbaar in de vorm van ijzeroxiden om fosfaat te binden (Lucassen et al., 2000; Lamers et al., 2002). De Fe:P-verhouding kan dan gecorrigeerd worden voor zwavel door de hoeveelheid zwavel af te trekken van de hoeveelheid ijzer (molbasis): (Fe-S)/P.

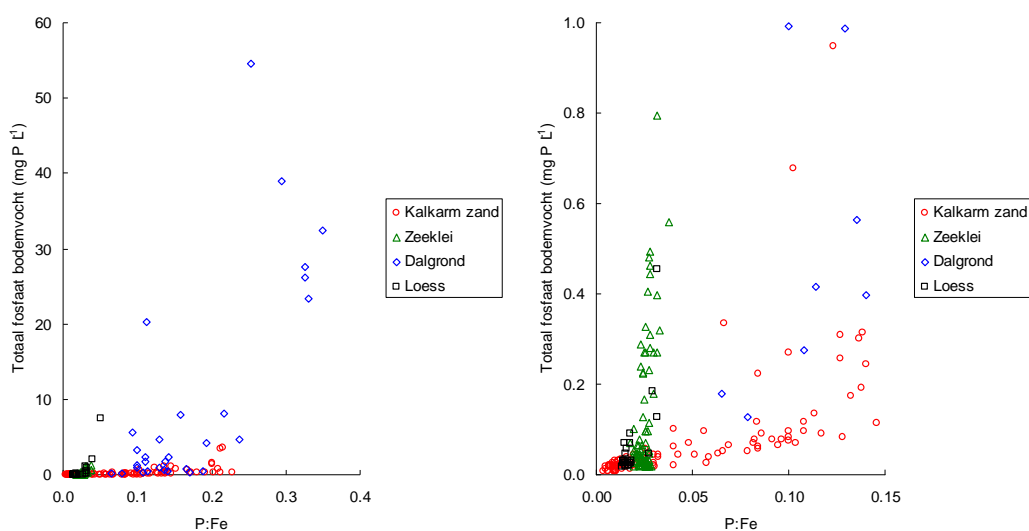
In beleidsregels die zijn opgesteld door waterschappen wordt naast een totaal-fosfaatgehalte van 1,36 g P kg<sup>-1</sup> de kritische P:Fe-verhouding van 0,055 van Boers en Uunk (1990) gehanteerd. Als deze P:Fe-verhouding wordt gebruikt voor het beoordelen van de kwaliteit van de landbouwgronden uit de studie van Blaauw et al. (1988) (Tabel 2) worden 84 van de 284 grondmonsters (30%) niet geaccepteerd voor gebruik in de afdeklaag. Als de kritische waarde van Fe:P-verhouding met een waarde van 10 wordt gebruikt voor de beoordeling van de kwaliteit van de natuurgronden uit de studie van Weijters & Bobbink (2008) worden maar liefst 284 van de 316 grondmonsters (90%) niet geaccepteerd voor gebruik in de afdeklaag; dit aantal neemt zelfs nog toe tot 291 grondmonsters (92%) als zwavel wordt meegenomen in deze verhouding ((Fe-S)/P).

Een aantal kritische kanttekeningen kunnen worden gemaakt bij de toepassing van deze parameters:

- Het gebruik van een P:Fe-verhouding om de risico's op fosfaatmobilisatie uit natuur- en landbouwgronden te beoordelen kan nuttig zijn, indien er

bijvoorbeeld een relatie bestaat tussen deze verhouding en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht. In natuur- en landbouwgronden heersen gewoonlijk geoxideerde omstandigheden. Een dergelijke relatie kan dan gebruikt worden om de fosfaatconcentratie in het water te voorspellen wanneer de grond wordt ingebracht in een diepe plas, en de grond nog steeds aerob is. De P:Fe-verhouding blijkt echter dan een slechte voorspellende waarde te hebben. In Figuur 2 is de totale fosfaatconcentratie in het bodemvocht uitgezet tegen de P:Fe-verhouding van de landbouwgronden uit de studie van Blaauw et al. (1988). Een P:Fe-verhouding die hoger is dan 0,055 hoeft niet perse te leiden tot een hoge opgeloste totaal-fosfaatconcentratie; omgekeerd hoeft een P:Fe-verhouding die lager is dan 0,055 niet perse tot een lage fosfaatconcentratie te leiden. Er bestaan duidelijke verschillen zowel tussen als binnen de gebruikte grondsoorten (kalkarm zand, zeeklei, dalgrond en löss).

- In kalkrijke zandgronden komt fosfaat in hoofdzaak voor in de vorm van calciumfosfaatmineralen. Voor dergelijke gronden is het weinig zinvol om een P:Fe-verhouding te gebruiken.
- Er bestaan verschillen in de fosfaatvormen die voorkomen in de vaste fase van aquatische sedimenten en van natuur- en landbouwgronden. Binding van fosfaat aan ijzeroxiden is niet de enige fosfaatbindingsvorm in de vaste fase van natuur- en landbouwgronden. In kalkarme zandgronden, kalkarme en kalkrijke kleigronden en veengronden speelt binding van fosfaat aan aluminiumoxiden eveneens een belangrijke rol. Aluminiumoxiden en het hieraan gebonden fosfaat zijn niet gevoelig voor veranderingen in de redoxtoestand die plaatsvinden op de lange termijn als de grond langdurig onder water staat. Hetzelfde geldt voor het in calciumfosfaatmineralen aanwezige fosfaat. Als deze fosfaatpools niet worden betrokken bij de risico-beoordeling wordt het risico op het vrijkomen van fosfaat op de lange termijn mogelijk overschat.



*Figuur 2. De relatie tussen de P:Fe-verhouding (gewichtsbasis) en de totaal-fosfaatconcentratie in bodemvocht (Blaauw et al., 1988). De maximale waarden op x- en y-as van het rechter figuur zijn lager dan die in het linker figuur.*

#### 4.1.3 Fe:P-verhouding in het poriewater van het sediment

In de bovengenoemde studie van Geurts et al. (2008) werd het verband onderzocht tussen de Fe:P-verhouding (molbasis) in anaeroob poriewater van aquatische sedimenten en de fosfaatconcentratie in de bovenstaande waterkolom. Bij een Fe:P-verhouding (molbasis) lager dan 3,5 werden verhoogde fosfaatconcentraties tot circa  $0,9 \text{ mg P L}^{-1}$  in de waterkolom gevonden. Een Fe:P-verhouding van 3,5 werd door deze auteurs voorgesteld als een kritische waarde; bij een verhouding die lager is dan 3,5 neemt het risico op het vrijkomen van fosfaat uit het sediment naar de waterkolom toe. Een soortgelijke aanwijzing werd gevonden door Smolders et al. (2001). Tussen deze verhouding en zwavel bestaat een duidelijke interactie: een lage Fe:P-verhouding werd door Geurts et al. (2008) verklaard door de vorming van ijzersulfidemineralen met een lage oplosbaarheid in het gereduceerde sediment. Hierdoor was minder ijzer in de vorm van ijzeroxide beschikbaar in het sediment om fosfaat te binden waardoor de fosfaatconcentratie in het poriewater en uiteindelijk in de waterkolom toenam.

Praktisch gezien is het meten van de ijzer- en fosfaatconcentratie in het poriewater van baggerspecie lastig, aangezien de monsternamen en meting onder gereduceerde omstandigheden moeten plaatsvinden. Voor natuur- en landbouwgronden is dit niet perse het geval, omdat deze gronden gewoonlijk aerob zijn. Op termijn zal na toepassing van natuur- en landbouwgrond in diepe plassen de redoxtoestand afnemen; een meting van de ijzer- en fosfaatconcentratie in het bodemvocht onder aerobe omstandigheden is dan minder zinvol voor de langere termijn.

#### 4.1.4 Fosfaatconcentratie in het bodemvocht/poriewater

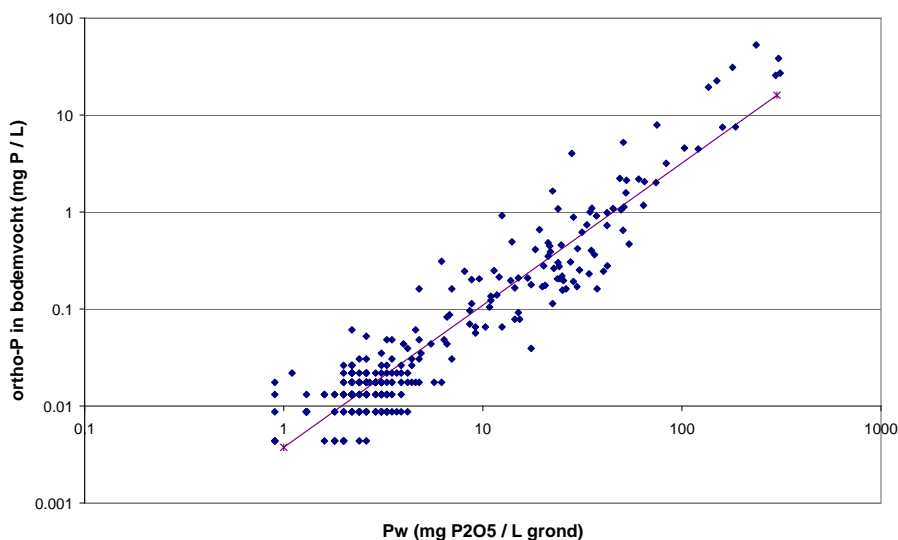
De fosfaatconcentratie in het bodemvocht van natuur- en landbouwgronden en baggerspecie kan rechtstreeks gemeten worden door het afcentrifugeren van bodemvocht of door het maken van extracten die de werking van bodemvocht of poriewater nabootsen, zoals bijvoorbeeld een extractie met water (Koopmans et al., 2006) of  $0,01 \text{ M CaCl}_2$  (Houba et al., 1986). In de bovengrond van natuur- en landbouwgronden heersen gewoonlijk geoxideerde omstandigheden. Tijdens de extractie is een grondmonster nog steeds aerob. De kwaliteitsbeoordeling die dan plaatsvindt is representatief voor het moment van inbrengen van de natuur- en landbouwgronden in een diepe plas wanneer de grond nog steeds aerob is. Op de lange termijn zal de grond worden blootgesteld aan gereduceerde omstandigheden, en zal de fosfaatconcentratie in het poriewater naar verwachting verder toenemen. Dit geeft voor de lange termijn mogelijk een onderschatting van het risico. Voor baggerspecie is het belangrijk om zowel de monsternamen, het uitslingeren of extractie en de meting onder anaerobe omstandigheden uit te voeren. Met het meten van de fosfaatconcentratie wordt alleen een indruk verkregen van de evenwichtssituatie; het blijft onbekend met welke hoeveelheid fosfaat die in de vaste fase van de grond of baggerspecie aanwezig is deze concentratie in evenwicht is en welke hoeveelheid fosfaat op termijn kan worden nageleverd. Niet alleen de fosfaatconcentratie is van

belang, maar de totale hoeveelheid fosfaat die vrij kan komen uit de grond en baggerspecie en de snelheid waarmee dit gebeurt zijn eveneens belangrijk.

#### 4.1.5 Pw-getal

Door Blaauw et al. (1988) werden op 10 locaties 41 bodemprofielen onderzocht, op kalkarm zand, zeeklei, dalgronden en löss. Op verschillende diepten werden onder meer het Pw-getal (water-extraheerbaar fosfaat bij een grond:vloeistofverhouding van 1:60 v:v) en de totale fosfaat- en ortho-fosfaatconcentraties in afgecentrifugeerd bodemvocht gemeten (Chardon & van Faassen, 1999). Tussen het Pw-getal en de ortho-fosfaatconcentratie in het bodemvocht kan een verband worden berekend (Figuur 3). Op een dubbel-log-schaal is het verband lineair; op een lineaire schaal kan het worden beschreven als:

$$\text{Ortho-fosfaat in bodemvocht} = 0.00375 * \text{Pw}^{1.466} \quad (1)$$



Figuur 3. Verband tussen het Pw-getal en de ortho-fosfaatconcentratie in afgecentrifugeerd bodemvocht. de gegevens zijn ontleend aan Blaauw et al. (1988). De getrokken lijn komt overeen met:  $y = 0,00375 * x^{1,466}$ .

Door Schoumans (2007) werd voor een aantal jaren onderzocht hoe de verdeling is van de door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG, Oosterbeek) geanalyseerde grondmonsters over verschillende klassen van fosfaatbeschikbaarheid. Als maat hiervoor werd het Pw-getal gebruikt, de methode die in Nederland wordt gehanteerd voor akkerbouwland. De verdeling van de grondmonsters uit 2003 is weergegeven in Tabel 5. Voor de waarden van het Pw-getal die behoren bij de verschillende klassen werden, m.b.v. bovenstaande vergelijking (1), ortho-fosfaatconcentraties in het bodemvocht berekend. Slechts 1% van de onderzochte monsters heeft een ortho-fosfaatconcentratie in het bodemvocht die lager ligt dan  $0,13 \text{ mg ortho-P L}^{-1}$ , een waarde die min of meer overeenkomt met de norm voor ortho-fosfaat in het oppervlaktewater. Het overgrote deel van de bemonsterde bodems lijkt dus ongeschikt te zijn voor gebruik als afdeklag, omdat de fosfaatconcentratie in het bodemvocht te hoog zal zijn. Deze fosfaatconcentratie

is vermoedelijk genoeg gebufferd waardoor in de bovenstaande waterlaag naar verwachting dezelfde fosfaatconcentratie zal ontstaan als in het bodemvocht (Chapman et al., 1997).

Tabel 5. Verdeling van door BLGG in 2003 geanalyseerde grondmonsters over verschillende beschikbaarheidsklassen voor het Pw-getal, met berekende waarden voor de ortho-fosfaatconcentratie in het bodemvocht. De gegevens van het Pw-getal zijn afkomstig uit Schoumans (2007).

Pw-getal klasse	Zeer laag	Laag	Voldoende	Ruim voldoende	Vrij hoog	Hoog
Pw-getal range (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup> )	<11	11-20	21-30	31-45	46-60	>60
Aantal grondmonsters (%)	1	5	12	26	23	33
Ortho-fosfaat bodemvocht <sup>1</sup> (mg P L <sup>-1</sup> )	<0.13	0.13-0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	>1.5

<sup>1</sup>Berekend als ortho-fosfaat in bodemvocht = 0,00375 \* Pw<sup>1,466</sup> (vergelijking (1)).

Een verband tussen het Pw-getal en ortho-fosfaatconcentratie in het bodemvocht kan erg nuttig zijn bij de kwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden omdat een Pw-getal van een specifieke partij grond vaak bekend is en de ortho-fosfaatconcentratie dan gemakkelijk geschat kan worden. Deze risico-beoordeling is alleen representatief voor het moment wanneer een partij grond wordt ingebracht in een diepe plas en deze grond nog steeds aeroob is, omdat vergelijking (1) alleen geldig is voor geoxideerde omstandigheden. Op termijn zal de redoxtoestand in de vulmaterialen na toepassing in de diepe plas afnemen en dan neemt de ortho-fosfaatconcentratie in het poriewater naar verwachting nog verder toe. Met vergelijking (1) wordt dus in feite zelfs nog een onderschatting van het risico op fosfaatmobilisatie gemaakt.

#### 4.1.6 P-AL-getal

In de Handreiking Beoordelen Waterbodems (Eindconcept 10 maart 2010) wordt, in bijlage G, een verband gepresenteerd tussen lactaatacetaat-extraheerbaar fosfaat (P-AL-getal) gemeten in aquatische sedimenten, en de (huidige) externe fosfaatbelasting van de bijbehorende watersystemen. De figuur is ontleend aan Jaarsma et al. (2008). Het P-AL-getal neemt toe met de (huidige) externe belasting. Een hoge waarde van het P-AL-getal<sup>2</sup> wordt daarbij gezien als een aanwijzing voor een grote voorraad aan fosfaat die zou kunnen worden nageleverd uit het sediment. De P-AL-getal analyse wordt echter uitgevoerd bij een pH van 3,75, waarbij calciumfosfaat in oplossing kan gaan dat normaliter niet of nauwelijks beschikbaar is. Het P-AL-getal zou dan ook alleen moeten worden gebruikt in combinatie met een intensiteitparameter zoals P in bodemvocht of in een water- of CaCl<sub>2</sub>-extract.

#### 4.1.7 Zure ammoniumoxalaat

De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) is in het bodemchemische en milieukundige onderzoek een veel gebruikte methode om de mate van fosfaatverzadiging van een bodemprofiel vast te stellen. Deze methode is ontwikkeld om overmatige uitspoeling van fosfaat uit kalkarme zandgronden naar het grondwater te voorkomen, zoals

<sup>2</sup> Ruwweg is het P-Al-getal 50% van de totale voorraad P in de bouwvoor van landbouwbodems



wordt beschreven in het protocol fosfaatverzadigde gronden (van der Zee et al., 1990). Inmiddels wordt deze methode niet alleen toegepast op kalkarme zandgronden, maar eveneens op kalkarme en kalkrijke klei en veengronden (Schoumans, 2004). De methode is gebaseerd op een extractie van de grond met zure ammoniumoxalaat. Met deze extractie worden de amorfe aluminium- en ijzeroxiden en het hieraan gebonden fosfaat geëxtraheerd; in deze extracten worden vervolgens de concentraties van deze metalen en de concentratie van fosfaat gemeten. De maximale bindingscapaciteit van de grond ( $F_{\max}$ ) kan worden berekend als:

$$F_{\max} = 0,5 * (Al+Fe)_{ox} \quad (2)$$

waarbij  $F_{\max}$  en  $(Al+Fe)_{ox}$  in  $\text{mmol kg}^{-1}$  zijn uitgedrukt.

De FVG kan dan worden berekend als:

$$FVG = P_{ox}/F_{\max} * 100\% \quad (3)$$

waarbij FVG is uitgedrukt als een percentage en  $P_{ox}$  is uitgedrukt in  $\text{mmol kg}^{-1}$ .

Bij een toenemende FVG van de grond neemt de fosfaatevenwichtsconcentratie in het bodemvocht toe. Als de FVG van het bodemprofiel 25% is, dan bedraagt de fosfaatevenwichtsconcentratie ter hoogte van de gemiddelde hoogste grondwaterstand  $0,1 \text{ mg ortho-P L}^{-1}$ .

Als eerste aanzet bij de kwaliteitsbeoordeling van grond zou een FVG van 25% aangehouden kunnen worden.

Het gebruik van deze methode voor de beoordeling van de kwaliteit van natuur- en landbouwgronden heeft de volgende voordelen:

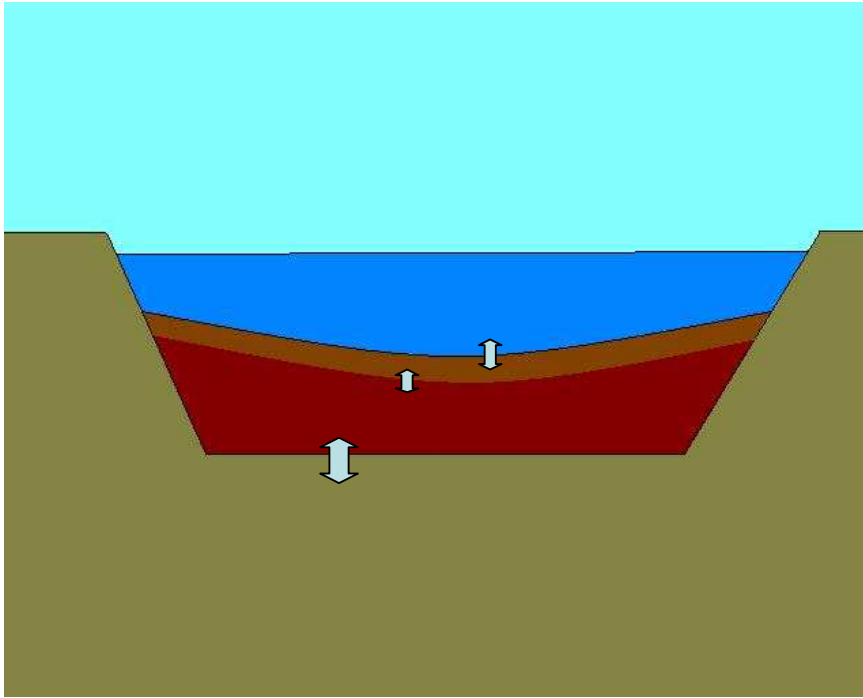
- Zowel de hoeveelheid aluminium- als ijzeroxide wordt gemeten; dit geeft een realistischer beeld van de wijze waarop het fosfaat in gebonden vorm in de grond voorkomt. Dit geeft mogelijk een realistischere indruk van de risico's op fosfaatmobilisatie tijdens en na toepassing van natuur- en landbouwgrond in een diepe plas, omdat het aan aluminiumoxiden gebonden fosfaat niet gevoelig is voor veranderingen in de redoxtoestand die op de lange termijn gaan optreden.
- Er wordt inzicht verkregen in de omvang van de fosfaatpool die mogelijk aan ijzeroxiden is gebonden, en die op de lange termijn vrij kan komen door reductie van  $\text{Fe}^{3+}$ , gevolgd door het oplossen van  $\text{Fe}^{2+}$  en het hieraan gebonden fosfaat.

## 4.2 Kwaliteit van grond als afdeklaag

### 4.2.1 Algemeen

De eisen die aan de afdeklaag worden gesteld zijn (nog) belangrijker voor de waterkwaliteit dan de eisen voor de grond of baggerspecie waarmee diepe plassen verondiept worden (Verheijen et al., 2009). Dit omdat de bovenste laag van aquatische sedimenten de mate van uitwisseling van nutriënten met de bovenstaande waterkolom in sterke mate bepaalt. Het voor de afdeklaag te gebruiken materiaal moet stabiel zijn, d.w.z. niet inklinken, en weinig nutriënten bevatten. Daarnaast dient het materiaal in staat te zijn om fosfaat uit de onderliggende vullagen met grond en baggerspecie af te vangen. De fosfaatconcentratie in het poriewater van de vulmaterialen is naar verwachting (veel) hoger dan in de afdeklaag en in de bovenstaande waterkolom. Dit wordt veroorzaakt door de hogere fosfaatgehalten in relatie tot de hoeveelheid ijzer in de vulmaterialen en als gevolg van een verlaagde redoxtoestand die op termijn optreedt. Er ontstaat dan een opwaartse diffusiegradiënt: de fosfaatconcentratie aan de onderzijde van de afdeklaag is veel hoger dan de concentratie in de bovenstaande waterkolom. Dit is de drijvende kracht voor het ontstaan van fosfaattransport door de afdeklaag door middel van diffusie. Als het materiaal van de afdeklaag een voldoende hoge fosfaatbindingscapaciteit bezit en een hoge affiniteit heeft om fosfaat te binden, wordt het fosfaat in deze laag vastgelegd en vindt er voorlopig geen verrijking van het bovenstaande water met fosfaat plaats. Indien massastroming van poriewater in de diepe plas voorkomt, bijvoorbeeld door opwaartse druk door kwel, dan is het totale transport van fosfaat door de afdeklaag de som van de hoeveelheid die wordt getransporteerd door diffusie en de hoeveelheid die wordt getransporteerd door massastroming. Als er kwel voorkomt met bijvoorbeeld een hoge sulfaatconcentratie, dan kan ten gevolge van interne eutrofiëring de fosfaatconcentratie in het poriewater van de vulmaterialen nog verder toenemen, waardoor de hoeveelheid fosfaat die in de afdeklaag afgevangen moet worden nog groter wordt. Als de fosfaatbindingscapaciteit van de afdeklaag op de lange termijn verbruikt is, dan kan deze laag uiteindelijk doorslaan, en wordt de fosfaatconcentratie in de bovenstaande waterkolom bepaald door fosfaatnalevering uit de ingebrachte grond en baggerspecie. Er is dan een verhoogd risico op eutrofiëring van het water in de plas. Op welke termijn de afdeklaag uiteindelijk gaat doorslaan hangt af van fosfaatbindingscapaciteit van de afdeklaag en de hoeveelheid fosfaat die met de tijd opwaarts wordt getransporteerd door diffusie en/of massastroming.

Een andere situatie ontstaat als de diepe plas in een wegzijgingsgebied ligt. Het oppervlaktewater zijgt in door de afdeklaag en het vulmateriaal. Fosfaat kan dan alleen opwaarts in de richting van de bovenstaande waterkolom worden getransporteerd door middel van diffusie; het duurt dan langer voordat de afdeklaag doorslaat dan in een situatie waarin naast diffusie massastroming optreedt. Door het uittreden van met fosfaat verrijkt grondwater in wegzijgingsgebieden kan de fosfaatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater in de directe omgeving van de plas worden verhoogd.



*Figuur 4. Opwaartse diffusie van fosfaat kan optreden door de afdekl laag in een diepe plas. Bij het optreden van kevel kan naast diffusie massastroming van fosfaat ontstaan. Als het materiaal waarmee de vulmaterialen zijn afgedekt verzadigd raakt met fosfaat, slaat deze laag volledig door. De fosfaatconcentratie in de waterkolom wordt dan opgelegd door de vulmaterialen. Een andere situatie ontstaat als de diepe plas in een wegzijgingsgebied ligt. Fosfaat kan dan alleen opwaarts worden getransporteerd door middel van diffusie; het duurt dan langer voordat de afdekl laag doorslaat dan in een situatie met diffusie en massastroming. Als gevolg van met fosfaat verrijkt uitredend grondwater kan de fosfaatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater in de directe omgeving van de diepe plas worden verhoogd.*

#### **4.2.2 Eisen aan het afdek materiaal**

Volgens een studie van Osté et al. (in voorbereiding) wordt bij voorkeur een zandgrond gebruikt met een laag fosfaatgehalte en een laag organisch stofgehalte. Een bijkomend voordeel van het gebruik van zandgronden is de geringe vertroebeling van het water tijdens de toepassing. Een organisch stofgehalte hoger dan 5 of 10% wordt door Osté et al. (in voorbereiding) als onwenselijk gezien, omdat afbraak van organische stof kan bijdragen aan de nalevering van fosfaat naar de bovenstaande waterkolom. Als een organisch stofgehalte van 5% als kritisch gehalte wordt gebruikt, dan kunnen een aantal grondsoorten niet worden geaccepteerd. Kalkarm en kalkrijk zand en kalkarme klei hebben gewoonlijk organische stofgehalten die lager zijn dan 5%. In kalkrijke klei en dalgronden worden organische stofgehalten van circa 10% gevonden; veengronden bezitten nog veel meer organische stof (Koopmans et al., 2006). Daarnaast lijkt in een groot deel van de landbouwgronden de fosfaatconcentratie in het bodemvocht te hoog te zijn voor gebruik als afdekl laag (Tabel 5); deze fosfaatconcentratie is vermoedelijk voldoende gebufferd waardoor in de bovenstaande waterlaag naar verwachting dezelfde fosfaatconcentratie zal ontstaan als in het bodemvocht (Chapman et al., 1997). Er ontstaat dan een potentieel risico op een ongewenst verhoogde fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater. Indien alleen landbouwgronden met een hoge fosfaatbeschikbaarheid beschikbaar zijn om te

worden gebruikt als afdeklaag is het eventueel een optie om de fosfaat-bindingscapaciteit van deze gronden te verhogen door het toedienen van ijzer- en/of aluminiumoxiden. Indien dit niet mogelijk is, bijvoorbeeld vanwege hogere kosten, dan zal voor de afdeklaag gebruik moeten worden gemaakt van zandgronden uit bestaande natuurgebieden die gewoonlijk een lager totaal-fosfaatgehalte en een lagere fosfaatbeschikbaarheid bezitten (Tabel 1 en 3).

Kleigronden hebben in vergelijking tot zandgronden een additioneel risico op verontreiniging van het oppervlaktewater door vertroebeling. Calciumrijk oppervlaktewater kan een dergelijk risico inperken. In het algemeen is het beter om een zandgrond te gebruiken als afdeklaag. Een kalkloze of kalkarme zandgrond bevat doorgaans minder dan 3% lutum en geeft daardoor nauwelijks/geen risico op vertroebeling van oppervlaktewater door suspenderende/peptiserende kleideeltjes.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Deze notitie gaat in op de helpdeskvraag of het mogelijk is om met een eenvoudige analyse of test van de in de plas te brengen grond of bagger te voorspellen welke invloed dat vulmateriaal heeft op het oppervlaktewater in de plas. De notitie beschrijft de processen en bespreekt criteria en toegepaste analysemethoden.

Criteria en analysemethoden vormen een eenheid. Onderscheid moet aangebracht worden naar methoden die gebaseerd zijn op een destructiemethode en daardoor een totaalgehalte bepalen en methoden die een fractie van het totale fosfaat in grond of bagger bepalen. Bij materiaal afkomstig van een anaeroob milieu wordt doorgaans gebruik gemaakt van totaalbepalingen of van analyse van poriënvocht om de totale hoeveelheid fosfaat en de directe beschikbaarheid hiervan te karakteriseren. Bij landbouwgronden, waar vaak een aeroob milieu heerst, wordt vaak gebruik gemaakt van extractiemethoden om de beschikbaarheid van fosfaat voor opname door gewassen te bepalen. De schudverhouding grond/extractievloeistof, de fysisch-chemische aard van het extractiemiddel, de schudduur, schudintensiteit en temperatuur bepalen onder meer de hoeveelheid fosfaat die geëxtraheerd wordt. De hoeveelheid geëxtraheerd fosfaat hangt dus af van de gebruikte methode. Daardoor verschillen deze methoden in de mate waarin reversibel gebonden fosfaat, quasi-irreversibel gebonden fosfaat, geprecipiteerd fosfaat, kristallijn fosfaat en organisch gebonden fosfaat worden ontsloten. De kwantiteit van die bodemfracties zal sterk afhankelijk zijn van de redoxpotentiaal van het materiaal. Onder aerobe omstandigheden zal bijvoorbeeld materiaal met relatief veel ijzerhoudende mineralen een lagere mate van extractie van aan ijzergebonden fosfaat geven dan onder anaerobe omstandigheden. Als het materiaal uitsluitend fosfaat in de vorm van calciumfosfaatmineralen bevat, dan zal het effect van de redoxpotentiaal op de extraheerbaarheid van P geringer zo niet verwaarloosbaar klein zijn. Dit geeft twee aandachtspunten bij de keuze van een analysemethode die een bodemfractie bepalen. In Europa zijn voor landbouwgronden nu circa 16 methoden van grondonderzoek in gebruik om die fosfaatbodemfracties te bepalen die relevant zijn om uitspraken te doen over de gewasbeschikbaarheid van fosfaat (data niet gegeven). De gewasbeschikbaarheid is hier een resultante van de intrinsieke bodemchemische eigenschappen van de bodem (bijvoorbeeld fosfaatvormen, pH, organische stof, bodemtextuur) en het gewas (dagelijkse vraag naar fosfaat, totale fosfaatopname, architectuur wortelstelsel). Elk van die methoden heeft een onderscheidenlijk ontwikkelingstraject gehad. Die verschillen berusten onder meer op verschillen door grondsoort en vormen van landgebruik met bijhorende vormen van fosfaatbemesting en methoden van calibratie van grondonderzoek op de gewasbeschikbaarheid. Deze methoden zijn expliciet ontwikkeld om een voorspelling te doen over de fosfaatbeschikbaarheid voor een gewas en zijn daardoor per definitie niet zonder meer toe te passen om de kwaliteit van een vulmateriaal vast te stellen ten einde risico's op eutrofiëring uit te sluiten.

Een tweede aandachtspunt is dat bij toepassing van deze methoden standaard gebruik gemaakt wordt van een voorbehandelingsmethode van grondonderzoek

waarbij grondmonsters onder aerobe omstandigheden worden gedroogd. De systematiek van voorbehandeling en analysemethoden ontwikkeld voor landbouwgronden (en ook toegepast bij natuurgronden) geeft daardoor niet afdoende uitsluitel of vulmateriaal risicovol is of geen aanleiding geeft tot een risico op eutrofiëring van het oppervlaktewater van diepe plassen. Dit tweede aandachtspunt geeft ook aan dat anaerobe grond- of baggermonsters niet klakkeloos voorgedroogd moeten worden. Dit geldt zeker voor materiaal dat ijzerhoudend is. Door voorbehandeling onder aerobe omstandigheden wordt snel (kwestie van minuten) gereduceerd ijzer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) omgezet in geoxideerd ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Dit kan leiden tot een onjuist beeld van de beschikbaarheid van de fosfaatvormen in het materiaal en de actuele en potentiële mate waarin fosfaat overgedragen wordt naar het oppervlaktewater. De methoden zijn bruikbaar mits rekening gehouden wordt met de grondsoort met daarin voorkomende fosfaatbodemfracties en effecten van de redoxpotential op de grootte van deze bodemfracties. Elk van de in de EU gebruikte methode heeft een merite maar toepassing voor het doel van de helpdeskvraag vraagt nadere aandacht. Dit geldt in het kader van de helpdeskvraag in het bijzonder voor de methoden die in Nederland algemeen worden toegepast (Pw-getal, P-AL-getal en P-CaCl<sub>2</sub>).

Bij de beantwoording van de helpdeskvraag wordt vooralsnog uitgegaan van bepaling van totaalgehalten om criteria te kunnen vaststellen.

De volgende generieke observaties worden gemaakt gebaseerd op in deze notitie gegeven informatie en *expert judgement*:

- Ondergrond van landbouwgronden of natuurgronden bevat minder fosfaat dan bovengrond.
- De mate van belasting van fosfaat is afhankelijk van de grondsoort en landgebruik.
- Zeeklei bevat van nature hogere fosfaatgehalten dan overige gronden.
- Ondergronden van zeeklei bevatten aanzienlijk hogere fosfaatgehalten dan die van overige grondsoorten.
- Bovengronden van grasland, bos- en natuurterreinen zullen bij eenzelfde grondsoort hogere gehalten aan organische stof bevatten dan die van akkerbouwland.
- Bovengronden van akkerbouwland en grasland zullen een pH (~5,5-7) hebben die fosfaat optimaal beschikbaar maakt voor het gewas;
- De pH van bovengronden van natuurterreinen is afhankelijk van de grondsoort. Diluviale zandgronden, dalgrond en veen zullen doorgaans vrij zuur zijn (pH <4,5).

Bij de vulfase zijn desorptie, solubilisatie en suspenderen processen waarmee rekening gehouden dient te worden om verrijking van het oppervlaktewater met P te beperken. Bepalend daarbij is de waterbeweging in de diepe plas en de interactie met de omgeving van die plas. Onderscheid naar kwel of inzijging dient betrokken te worden bij de analyse of een vulling van een diepe plas een risico (direct of op termijn) oplevert voor verrijking van het oppervlaktewater met fosfaat. Daarbij dient de samenstelling van het kwelwater of inzijgend water te worden betrokken. Dit is

een randvoorwaarde die nadere uitwerking vraagt in een ander kader dan deze helpdeskvraag.

De helpdeskvraag leidt tot de volgende beantwoording gegeven de bovenstaande afbakeningen:

De bepaling van totaal-fosfaat in grond of bagger is een onderdeel van het beantwoorden van de vraag of er een risico is op ongewenst hoge verliezen van P naar oppervlakte- of grondwater.

De bepaling van totaal-fosfaat in grond of bagger alleen is echter onvoldoende om dit risico vast te stellen, daartoe dienen andere parameters ook bepaald of bekend te zijn.

Informatie is nodig over de vorm of vormen waarin het totaal fosfaat beschikbaar is in het beoogde vulmateriaal.

Indien calcium de dominante fractie van de fosfaatvormen in het beoogde vulmateriaal bepaalt, dan dient ten minste bodemkundige informatie over de grondsoort beschikbaar te zijn en over de huidige en in de toekomst te verwachten pH.

Indien organische stof de dominante fractie is van de fosfaatvormen in het beoogde vulmateriaal, dan dient ten minste bodemkundige informatie over de grondsoort beschikbaar te zijn. Ook onder anaerobe omstandigheden breekt organische stof (langzaam) af waarbij fosfaat vrij kan komen. Waterkwaliteit en waterbeweging dienen betrokken te worden bij de afweging of dit type vulmateriaal geschikt is voor verondieping. Een punt van aandacht vormt daarbij ook de berekeningswijze. Er zal bij analyse op fosfaat en organische stof eerder met het volumegewicht rekening gehouden moeten worden dan – wat standaard gebruikelijk is – met gewichtsbasis. Standaardrekeningsfactoren voor de berekening van het volumegewicht van landbouwgronden zijn ongeschikt voor het vulmateriaal *in situ*.

Indien ijzer een niet te verwaarlozen fractie is van de fosfaatvormen in het beoogde vulmateriaal, dan dient ten minste de verhouding P/Fe bekend te zijn. Daarnaast dient het gehalte aan zwavel bekend te zijn. De verhouding P/Fe dient gecorrigeerd te worden voor het aandeel zwavel in het vulmateriaal. Zwavel is een mineraal bestanddeel dat altijd voor zal komen in bagger of in landbouwgrond.

Vastgesteld dient te worden of de diepe plas aanvoer heeft van sulfaathoudende kwel of oppervlaktewater. Indien dat het geval is, dan zal nader onderzoek uitgevoerd moeten worden of de aanvoer – ook op de lange termijn - verwaarloosbaar is ten opzichte van de capaciteit van het vulmateriaal om P blijvend te binden.

Indien ijzer een niet te verwaarlozen fractie is van de fosfaatvormen in het beoogde vulmateriaal en al dan niet voor zwavel gecorrigeerd is, dan zal een vulmateriaal met een verhouding P/Fe lager dan 0,055 (gewichtsbasis) een onderscheidend criterium kunnen zijn. Verwacht wordt dat vulmateriaal met lagere waarden geen aanleiding

zullen gaan geven tot zorgvragende verhoging van fosfaatgehalten in het oppervlaktewater van de diepe plas.

Het door de waterschappen gehanteerde generieke richtgetal voor het totaal-fosfaatgehalte van 1,36 g/kg P voor bagger geeft gezien het bovenstaande een beperkte indicatie van de beschikbaarheid van fosfaat. Factoren als grondsoort, organisch stofgehalte, kwel of inzijging, aanwezigheid van ijzer en zwavel zijn tevens van belang. Een beter begrip van in welke mate en met welke snelheid fosfaat beschikbaar kan komen als landbouwgrond en bagger worden gebruikt als vulmiddel voor diepe plassen is dus nodig. Dit vraagt verder onderzoek en ervaringen uit de praktijk.

Landbouwgrond, met name de bouwvoor, bevat meestal dusdanig veel fosfaat dat vooralsnog ontraden wordt om dit materiaal als afdeklaag te gebruiken.

Deze helpdeskvraag is in korte tijd beantwoord. Het antwoord berust op een snelle analyse van beschikbare literatuur en *expert judgement*.

Een aantal aandachtspunten blijven onbesproken of worden zijdeling aangestipt en vragen nadere uitwerking. Deze zijn:

- Effect van voorbehandeling van grond- of baggermonsters op de vaststelling van fosfaatfracties die bij kunnen dragen aan de fosfaaddynamiek.
- Effect van de waterbeweging in en rond de diepe plas op fluxen van fosfaat naar het oppervlaktewater in de diepe plas.
- Effect van de samenstelling van oppervlaktewater of kwel op de dynamiek van fosfaat in het vulmateriaal.
- Effect van mineralisatie van organische fosfaatverbindingen is een onderbelicht onderwerp in deze notitie.



## Literatuur

- Blaauw, D., H.A. Sissingh & W.J. Chardon (1988) Verdeling van fosfaat in bodemprofielen in Nederland. Notitie Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, 25 pp.
- Boers, P. & J. Uunk (1990) Methode voor het schatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting. Lelystad, Nota Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA nr. 90.032.
- Chapman, P.J., A.C. Edwards & C.A. Shand (1997) The phosphorus composition of soil solutions and soil leachates: Influence of soil:solution ratio. *Eur. J. Soil Sci.* 48: 703-710.
- Chardon, W.J. & H.G. van Faassen (1999) Soil indicators for critical source areas of phosphorus leaching. Rapport Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, vol. 22, Wageningen, ISBN 90-73270-37-5.
- Ehlert, P.A.I. (2005) Toepassing van de basisvruchtbenadering op fosfaat van compost. Wageningen, WOt-rapport 5, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Geurts, J.J.M., A.J.P. Smolders, J.T.A. Verhoeven, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers (2008) Sediment Fe:PO<sub>4</sub> ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters. *Freshw. Biol.* 53: 2101-2116.
- Groot, M.S.M., J.J.B. Bronswijk, W.J. Willems, T. de Haan, P. del Castillo (1997) Landelijk meetnet bodemkwaliteit : resultaten 1994. Bilthoven, RIVM Rapport 714801017.
- Groot, M.S.M., J.J.B. Bronswijk, W.J. Willems, T. de Haan, P. del Castillo (1998) Landelijk meetnet bodemkwaliteit : resultaten 1995. Bilthoven, RIVM Rapport 714801024.
- Houba, V.J.G., I. Novozamsky, A.W.M. Huybregts & J.J. Van der Lee (1986) Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl<sub>2</sub>, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant Soil* 96: 433-437.
- Jaarsma, N., M. Klinge & L. Lamers (2008) Van helder naar troebel en weer terug. Rapport STOWA 2008-04, ISBN 978.90.5773.386.4.
- Jensen, H.S., P. Kristensen, E. Jeppesen & A. Skytthe (1992) Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235-236: 731-43.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.H.I. Dekker, P.F.A.M. Römkens & O.F. Schoumans (2006) Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. *Soil Sci.* 171: 103-116.
- Lamers, L.P.M., S.J. Falla, E.M. Samborska, L.A.R. Van Dulken, G. Van Hengstum & J.G.M. Roelofs (2002) Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate-polluted freshwater wetlands. *Limnol. Oceanogr.* 47: 585-593.
- Lamers, L.P.M., H.B.M. Tomassen & J.G.M. Roelofs (1998) Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 32: 199-205.
- Loeb, R., L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2008) Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. *Environ. Pollut.* 156: 325-331.

- Lucassen, E., A. Smolders & J. Roelofs (2000) De effecten van verhoogde sulfaatgehalten op grondwater gevoede ecosystemen. *H<sub>2</sub>O* 33(25/26): 28-31.
- Maassen, S., D. Uhlmann & I. Roske (2005) Sediment and pore water composition as a basis for the trophic evaluation of standing waters. *Hydrobiologia* 543: 55–70.
- Osté, A., N. Jaarsma, F. van Oosterhout (in voorbereiding) Een heldere kijk op diepe plassen. Kennisdocument diepe meren en plassen: ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen. Eindconcept, RPS BCC B.V.
- Postma, D., C. Boesen, H. Kristiansen & F. Larsen (1991) Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer - water chemistry, reduction processes, and geochemical modeling. *Water Resour. Res.* 27: 2027-2045.
- Ramm, K. & V. Scheps (1997) Phosphorus balance of a polytrophic shallow lake with the consideration of phosphorus release. *Hydrobiologia* 342: 43–53.
- Rietra, R., C. Van Beek & J. Harmsen (2008) Uitspoeling van stikstof en fosfaat na toediening van slootbagger op veengrond : een verkennende laboratorium studie. Rapport 1703, Alterra Wageningen.
- Roden, E.E. & J.W. Edmonds (1997) Phosphate mobilization in iron-rich anaerobic sediments: Microbial Fe(III) oxide reduction versus iron-sulfide formation. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 347-378.
- Schep, S., N. Jaarsma & G. Van Ee (2008) Verbetering waterkwaliteit bij verondieping van ontgrondingsplassen in Hollands Noorderkwartier. *H<sub>2</sub>O* 41(17): 38-40.
- Schoumans, O.F. (2004) Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Rapport 730.4, Alterra, Wageningen.
- Schoumans, O.F. (2007) Trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Rapport 1537, Alterra, Wageningen.
- Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, M. Moonen, K. Zwaga & J.G.M. Roelofs (2001) Controlling phosphate release from phosphate-enriched sediments by adding various iron compounds. *Biogeochem.* 54: 219-228.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. Van Riemsdijk & F.A.M. De Haan (1990) Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Wageningen, Landbouwniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding.
- Verheijen, L., Van den Akker, C., R. Comans, J. Griffioen, T. Grotenhuis, W. De Lange, P. Leenders, J. Lijzen, L. Osté, A. Van der Kooij & S. Moolenaar (2009) Verantwoord grootschalig toepassen van grond en baggerspecie. Rapport van de Deskundigencommissie, hoofdrapport. Deskundigencommissie Zandwinputten, Min. VROM, Den Haag, MD-BO20092018, 46 pp.
- Weijters, M. & R. Bobbink (2008) Bodemchemisch vooronderzoek Noordenveld en Kloosterveld (Nationaal Park Dwingelderveld). Rapport 2008.28, B-Ware, Nijmegen.