

Relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatconcentratie in oplossing van een onderzoekslocatie aan de Mosbeek

596645

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van de provincie Overijssel en Rijkswaterstaat/
RIZA



Bodem en water, milieu en natuur, landschap en ruimte:

DLO-Staring Centrum heeft een geïntegreerde kijk op de toekomst van het
landelijk gebied

32/446 (348) 2^o ex

**Relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de
fosfaatconcentratie in oplossing van een onderzoekslocatie
aan de Mosbeek**

O.F. Schoumans

Rapport 348

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1994

REFERAAT

Schoumans, O.F., 1994. *Relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatconcentratie in oplossing van een onderzoekslocatie aan de Mosbeek*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 348; 30 blz.; 2 fig.; 1 tab.; 9 ref.; 2 Aanhangsels.

Uit een milieukundige karakterisering van de fosfaattoestand van een viertal percelen die direct zijn gelegen aan de Mosbeek, blijkt dat alle bemonsterde punten fosfaatverzadigd zijn, uitgezonderd de punten die in een klein natuurgebied zijn gelegen. In de monsters die afkomstig zijn van een sterk fosfaatverzadigd maisperceel, worden in het laboratorium zeer hoge fosfaatdesorptieconcentraties aangetroffen, die op kunnen lopen tot ca. 20 maal de norm die voor het oppervlaktewater geldt. De fractie fosfaat die makkelijk vrij kan komen, varieert, afhankelijk van het perceel en de diepte, van 5 tot 45% van het totaal aan fosfaat dat aanwezig is. Tot slot blijkt dat voor de onderzochte percelen middels een nieuwe desorptie-techniek de gemiddelde (gestandaardiseerde) fosfaatdesorptie-isotherm op eenvoudige wijze afgeleid kan worden.

Trefwoorden: fosfaatbinding, fosfaatsorptie, fosfaatadsorptie, fosfaatdesorptie, fosfaatconcentraties, fosfaatverzadiging, fosfaatuitspoeling, fosfaatbezettingsfractie, desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie, fosfaat-desorptie-isotherm

ISSN 0927-4499

©1994 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp' (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Theoretische achtergronden	13
3 Proefopzet	17
3.1 Bemonstering en monstervoorbehandeling	17
3.2 Meting van het oxalaat extraheerbaar P-, Al- en Fe-gehalte	17
3.3 Meting van de fosfaatdesorptieconcentratie in oplossing (c_p)	17
3.4 Meting van de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat (Q)	18
4 Fosfaatverzadiging en fosfaatuitspoeling	19
4.1 Fosfaattoestand van de percelen	19
4.2 Fosfaatdesorptie-isotherm	21
5 Conclusies	23
Literatuur	25
Tabel	
Het gemiddelde van de fosfaatbezettingsfractie ($FBF = P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$), de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie ($DFBF = Q/(Al+Fe)_{ox}$) en de fosfaatdesorptieconcentratie (c_p) van de onderzochte percelen	19
Figuren	
1 Gestandaardiseerde fosfaatdesorptie-isotherm (alle monsters)	21
2 Gestandaardiseerde fosfaatdesorptie-isotherm (monsters met $FBF < 0,6$)	22
Aanhangsels	
1 Ligging bemonsterde punten op de onderzoekslocatie	27
2 Analyseresultaten van bemonsterde lagen	29

Woord vooraf

Dit rapport vormt een onderdeel van het project 'Onderzoek vermindering af- en uitspoeling meststoffen door beekgeleidende bufferstroken in Noordoost Twente' (project 2726), welke in opdracht van de provincie Overijssel en Rijkswaterstaat/RIZA, en in samenwerking met het Waterschap Regge en Dinkel, door SC-DLO wordt uitgevoerd (najaar 1993 - najaar 1995).

Het onderhavige rapport bevat de resultaten van een laboratoriumonderzoek naar de fosfaattoestand van de bodem en het vrijkomen van fosfaat van monsters die afkomstig zijn van een door het Waterschap, en in overleg met de provincie, geselecteerde onderzoekslocatie gelegen aan de Mosbeek nabij Vasse. Het laboratoriumonderzoek is in het najaar van 1993 uitgevoerd.

In de begeleidingscommissie zaten vertegenwoordigers van:

- Provincie Overijssel (ir. C. Dekker, Drs. M. Heuvelink, Drs. M.P.J.M. Kroot)
- RIZA (ir. D.T. van der Molen)
- DLO-Staring Centrum (ir. P. Groenendijk, ir. R.F.A. Hendriks, ir. J.M.P.M. Peerboom en ir. O.F. Schoumans)
- Waterleidingmaatschappij Overijssel (Drs. J.C. de Ruiter)
- Waterschap Regge en Dinkel (ir. E.J.B. Uunk en G. Schmidt)

Dank is verschuldigd aan Dhr. D.J. Groot-Obbink voor het nemen van de monsters en de heren ing. L. Köhlenberg, R. van Riemsdijk en J.P. Stavenuiter voor het uitvoeren van de laboratoriumanalyses.

Samenvatting

De sterke fosfaatverzadiging van de bodem in gebieden met intensieve veehouderij leidt tot eutrofiëringsproblemen in het oppervlaktewater, als gevolg van oppervlakteafspoeling en ondiepe fosfaatuitspoeling uit de omliggende landbouwgronden. Modelberekeningen geven aan dat het huidige mestbeleid niet op korte termijn tot een sterke reductie van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater leidt en dat hiervoor additionele maatregelen noodzakelijk zijn. Eén van de mogelijke maatregelen zou kunnen zijn het creëren van bemestingsvrije bufferzones tussen landbouwgronden en het oppervlaktewater.

In opdracht van de provincie Overijssel en Rijkswaterstaat/RIZA, en in samenwerking met het Waterschap Regge en Dinkel, wordt door DLO-Staring Centrum onderzoek verricht naar de effectiviteit van de aanwezigheid van een bufferzone op de nutriëntenuitspoeling. Het onderzoek vindt plaats op een locatie waar een viertal percelen direct zijn gelegen aan de Mosbeek. De gehele studie bestaat uit een uitgebreid veldonderzoek, een laboratoriumonderzoek naar de fosfaattoestand van de percelen en een modelstudie.

Dit rapport geeft de resultaten weer van het laboratoriumonderzoek naar de fosfaattoestand van de vier percelen. Voor de opzet van het laboratoriumonderzoek is uitgegaan van de gangbare fosfaatprocesformulering voor kalkloze zandgronden. De conclusies van de resultaten van het laboratoriumonderzoek kunnen als volgt worden samengevat:

- De fosfaattoestand van de bovengrond (0-60 cm) van de vier percelen neemt toe in de volgorde: natuur < extensief grasland < intensief grasland << maisland. Tevens neemt op alle percelen de fosfaattoestand met de diepte af.
- Alle bemonsterde punten zijn volgens de definitie van een fosfaatverzadigde grond fosfaatverzadigd, behalve de punten die in een klein natuurgebied (elzenbosje en stukje beekoever met adelaarsvarens) zijn gelegen.
- Afhankelijk van het perceel en de diepte van de bemonsterde laag varieert de hoeveelheid goed desorbeerbaar fosfaat van ongeveer 5 tot 45%.
- De in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentraties in oplossing lopen op tot concentraties die ca. 20 maal zo hoog zijn als de norm die voor het grondwater geldt ($0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$). Dit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting voor de veldsituatie, aangezien de grond-vloeistofverhouding in het laboratorium relatief laag was (2,5 gr grond : 100 ml oplossing).
- Het verband tussen de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie ($Q/(Al+Fe)_{ox}$) en de in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentratie (c_p) voldoet redelijk goed aan de gestandaardiseerde Langmuirvergelijking, indien monsters waarbij de kans bestaat dat fosfaatprecipitaten aanwezig zijn buiten beschouwing worden gelaten.

- Dit houdt in dat de voor deze studie ontwikkelde nieuwe techniek, voor het op goedkope en eenvoudige wijze bepalen van de gemiddelde (gestandaardiseerde) desorptie-isotherm, ook redelijk blijkt te voldoen.

1 Inleiding

Als gevolg van de opkomst van de intensieve veehouderij begin jaren zeventig heeft (sterke) vermessing van landbouwgronden plaatsgevonden (op veelal kalkloze zandgronden). Fosfaat wordt door de bodem goed vastgelegd (Van Riemsdijk, 1979; Lexmond et al., 1982; Schoumans et al., 1986; Van der Zee, 1988), echter de capaciteit om fosfaat te binden is beperkt, waardoor de kans op fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater toeneemt, naarmate de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem toeneemt.

Reijerink en Breeuwsma (1992) hebben berekend dat in 1990 reeds 70% van het areaal landbouwgronden in het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied voldoet aan de definitie van een fosfaatverzadigde grond. Dit betekent dat bij die gronden op termijn de natuurlijke fosfaat-achtergrondconcentraties op de gemiddelde hoogste grondwaterstand zal worden overschreden, als gevolg van historische fosfaatbemesting (Van der Zee, 1990a en b).

Een toename van de fosfaatbelasting van het grondwater zal in veel gevallen ertoe leiden dat ook de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater zal stijgen. In gebieden met sterk fosfaatverzadigde gronden worden al een (groot) aantal jaren te hoge fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater aangetroffen. Modelberekeningen geven aan dat ondanks de mestwetgeving de huidige fosfaatbelasting van het oppervlaktewater nog gedurende tientallen jaren gehandhaafd zal blijven, of zelfs nog zal toenemen als gevolg van het verplaatsen van het fosfaatfront naar grotere diepten in de bodem (Kroes et al., 1990).

Deze zorgwekkende situatie heeft ertoe geleid dat overheidsinstanties steeds meer geïnteresseerd raken in de effectiviteit van mogelijke aanvullende maatregelen, naast bemestingsmaatregelen, op de reductie van de fosfaatuitspoeling. Eén van de mogelijke maatregelen zou kunnen zijn het creëren van bemestingsvrije beekgeleidende bufferzones, aangezien met name oppervlakte-afspoeling en ondiepe uitspoeling een belangrijke bijdrage leveren aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. In opdracht van de provincie Overijssel en Rijkswaterstaat/RIZA, en in samenwerking met het Waterschap Regge en Dinkel, onderzoekt DLO-Staring Centrum, in de periode najaar 1993 - najaar 1995, de mogelijke effectiviteit van beekgeleidende bufferzones voor een proeflocatie in het stroomgebied van de Mosbeek. Naast veldmetingen vindt ook fosfaatonderzoek in het laboratorium plaats en worden modelberekeningen uitgevoerd. Doel van de laboratoriumstudie is om voor de bovengrond van deze onderzoekslocatie de fosfaattoestand vast te stellen en na te gaan hoeveel fosfaat uit deze toplaag kan vrijkomen en met welke fosfaatconcentraties dit gebeurt.

In dit rapport worden de resultaten van het laboratoriumonderzoek gepresenteerd, welke in het najaar van 1993 zijn uitgevoerd. De opbouw van het rapport is als volgt: in hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de procesformulering van de goed desorbeerbare fosfaatfractie; hoofdstuk 3 beschrijft de proefopzet; in hoofdstuk 4 worden de resultaten weergegeven en tot slot staan in hoofdstuk 5 de conclusies vermeld.

2 Theoretische achtergronden

De fosfaatbinding in kalkloze zandgronden vindt hoofdzakelijk plaats aan micro-kristalijne/amorfe aluminium- en ijzer(hydr)oxiden. Bij de procesformulering van de fosfaatbinding worden twee processen onderscheiden, namelijk:

- de snel verlopende (< 1 dag) reversibele oppervlakte-adsorptiereactie (Q)
- de langzaam verlopende 'irreversibele' diffusie/precipitatiereactie (S)

In dit rapport staat met name de goed desorbeerbare (reversibele) fosfaatoppervlakte-adsorptiereactie centraal, waardoor alleen deze hier behandeld zal worden.

De snelheid waarmee het fosfaat aan het *oppervlak* kan worden gebonden, wordt verondersteld te kunnen worden beschreven met (Van der Zee, 1988):

$$v_a = k_a \cdot c_p \cdot (Q_m - Q) \quad (1)$$

v_a = adsorptiesnelheid

k_a = adsorptiesnelheidsconstante

c_p = fosfaatconcentratie

Q = geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat

Q_m = maximaal hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat

Voor de beschrijving van de desorptiesnelheid (vrijkomen van fosfaat van het oppervlak) wordt uitgegaan van :

$$v_d = k_d \cdot Q \quad (2)$$

v_d = desorptiesnelheid

k_d = desorptiesnelheidsconstante

Voor de totale fosfaat oppervlakte-adsorptie snelheidsreactie geldt nu:

$$\frac{dQ}{dt} = k_a \cdot c_p \cdot (Q_m - Q) - k_d \cdot Q \quad (3)$$

Aangezien de fosfaatadsorptie- en desorptiereacties snelle reacties zijn, zal in de bodem ook snel een evenwicht bereikt worden ($dQ / dt = 0$), hetgeen tot de volgende relatie leidt:

$$Q = \frac{K \cdot c_p \cdot Q_m}{1 + K \cdot c_p} \quad (\text{Langmuirvergelijking}) \quad (4)$$

Q = geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat (mmol kg⁻¹)

Q_m = maximale hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat (mmol kg⁻¹)

c_p = fosfaatconcentratie (mg l⁻¹)

K = k_a / k_d (l mg⁻¹)

Uit deze vergelijking blijkt dat bij evenwicht de geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat afhangt van de fosfaatconcentratie in een bodemoplossing en omgekeerd.

De waarden voor K en Q_m zijn voor ieder monster verschillend. Voor kalkloze

zandgronden is gevonden dat de K-waarde varieert van circa 0,3 tot 3 l mg⁻¹ en dat deze niet gecorreleerd is met het oxalaat extraheerbaar aluminium en ijzergehalte, dit in tegenstelling tot de Q_m-waarde (Van der Zee et al., 1990 a):

$$Q_m = \beta (Al + Fe)_{ox} \quad (5)$$

β = maximale desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie $\approx 0,2$ (-)
 $(Al+Fe)_{ox}$ = oxalaat extraheerbaar aluminium en ijzergehalte (mmol.kg⁻¹)

Combinatie van vergelijking 5 met 4 levert (de gestandaardiseerde Langmuirvergelijking):

$$\frac{Q}{(Al + Fe)_{ox}} = \frac{K \cdot c_p \cdot \beta}{1 + K \cdot c_p} \quad (6)$$

Uit vergelijking 6 blijkt dat de desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie (DFBF zijnde $Q/(Al+Fe)_{ox}$) van een laag, een maat is voor de fosfaatconcentratie die in die laag zal ontstaan, gegeven de K-waarde van het betreffende monster. Aangezien het zeer bewerkelijk en kostbaar is om voor een groot aantal monsters de K-waarde afzonderlijk te bepalen, is een goedkope nieuwe methodiek ontwikkeld om een gemiddelde K-waarde van alle monsters direct af te leiden. Hiervoor wordt van alle monsters zowel een oxalaatextractie uitgevoerd (P_{ox} , Al_{ox} , Fe_{ox}) als de fosfaatevenwichtsconcentratie (c_p) bepaald en de actuele hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat (Q).

Opgemerkt wordt dat de desorbeerbare hoeveelheid fosfaat (Q) veelal een deel is van de hoeveelheid fosfaat die in een monster aanwezig is. De totale hoeveelheid fosfaat die 'maximaal' door een monster gebonden kan worden (dit is de som van de oppervlakte reactie (Q) en de langzame diffusie-reactie (S)), kan geschat worden volgens:

$$FBV_{tot} = \alpha (Al + Fe)_{ox} \quad (7)$$

FBV_{tot} = totaal fosfaatbindend vermogen van een laag (mmol.kg⁻¹)
 α = maximale fosfaatbezettingsfractie (-)

Voor de waarde van α wordt in kalkloze zandgronden veelal 0,5 ($\pm 0,1$) gevonden (Lexmond et al., 1982; Schoumans et al., 1986; Van der Zee, 1988), waaruit volgt dat de gemiddelde maximale hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat (Q_m) ca. 30 à 40% bedraagt van het totaal fosfaatbindend vermogen (FBV_{tot}).

Uit vergelijking 7 blijkt dat de verhouding $P/(Al+Fe)$ van een laag een belangrijke maat is voor de verzadigingsgraad van de laag. $P/(Al+Fe)$ wordt gedefinieerd als de fosfaatbezettingsfractie FBF (Schoumans et al., 1991). Zodra de FBF van een monster de waarde 0,5 overschrijdt, wordt het monster als 'volledig met fosfaat-verzadigd beschouwd', omdat de totale fosfaatsorptiesnelheid bij een dermate hoge fosfaatbezetting zeer laag is geworden ('pseudo-sorptie-maximum'; Van Riemsdijk, 1979; Lexmond et al., 1982; Schoumans et al., 1986 en Van der Zee et al., 1990 a en b).

Voordat een laag volledig met fosfaat verzadigd is, kunnen in de bodemoplossing

al duidelijk verhoogde fosfaatconcentraties worden aangetroffen. Uit het onderzoek ter onderbouwing van de definitie van een fosfaatverzadigde grond (Van der Zee et al., 1990 a en b) is gebleken dat, zodra een kwart van het FBV - berekend tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) - is overschreden er een verhoogde kans van extra fosfaatbelasting van het grondwater (op GHG-niveau) bestaat. Dit betekent dat de natuurlijke fosfaatuitspoeling naar het grondwater ($0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$) op den duur wordt overschreden. Van een 'fosfaatverzadigde grond' wordt dan ook gesproken wanneer de fosfaatverzadigingsgraad ($\text{FVG} = \text{P} * 100 / \text{FBV}_{\text{tot}}$) tot aan de GHG groter is dan 25%. Een FVG van 25% komt overeen met een gemiddelde fosfaatbezettingsfractie (FBF) van 0,125.

3 Proefopzet

3.1 Bemonstering en monstervoorbehandeling

De monsters zijn afkomstig van een proeflocatie welke gelegen is aan de Mosbeek in de provincie Overijssel (kaartblad 28F) en omvat een maisperceel en een intensief en extensief graslandperceel. Een deel van het maisperceel bevat een strook met elzenbos. De monsters zijn gestoken in een viertal raaien min of meer loodrecht op de loop van de Mosbeek (op grond van verwachte grondwaterstroming naar de Mosbeek). Afhankelijk van de raai zijn 5 tot 8 plaatsen bemonsterd (voor een schematische weergave zie bijlage 1). Op elke plaats is per laagdikte van 20 cm een monster gestoken tot een diepte van 120 cm. Aangezien het budget beperkt was, is van de meeste plaatsen alleen de bovengrond (0-60 cm) in het onderzoek betrokken.

Conform NEN-voorschrift 5751 zijn alle monsters gedroogd, gezeefd over een 2 mm-zeef en gehomogeniseerd. Vervolgens zijn de monsters voorzien van een monsteropslagnummer (MOP-nummer) en opgeslagen in plastic potten.

3.2 Meting van het oxalaat extraheerbaar P-, Al- en Fe-gehalte

De hoeveelheid gebonden fosfaat in een kalkloos zandmonster kan bepaald worden door een oxalaatextractie uit te voeren, waardoor de fosfaatreactieve bodembestanddelen (namelijk de microkristallijne/amorfe aluminium- ijzer(hydr)-oxiden) in oplossing komen en door het oxalaat worden gecomplexeed (SWVM 0028 SC-DLO; concept, NEN 5751; concept). De geëxtraheerde P, Al en Fe (resp. P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox}) worden gemeten op de ICP/AES (SWVM 0092 SC-DLO; concept) en omgerekend naar mmol kg^{-1} . Uit de geëxtraheerde hoeveelheid P, Al en Fe kan tevens de fosfaatbezettingsfractie (FBF) berekend worden volgens $FBF = P_{ox} / (Al + Fe)_{ox}$.

3.3 Meting van de fosfaatdesorptieconcentratie in oplossing (c_p)

Circa 2,5 gram voorbehandeld grondmonster werd in een polyethyleen flesje ingewogen, waarna 100 ml 0,01 M KCl-oplossing werd toegevoegd. De monsters werden gedurende een week in het donker geschud (56 s.p.m.). Vervolgens werd -na een dag bezinken- 50 ml van de monsters gefiltreerd over een membraanfilter (0,45 μm) en werd de fosfaatdesorptieconcentratie in het filtraat gemeten met behulp van de fosformolybdeenblauwkleuring op de spectrofotometer (SWVM 0102; SC-DLO; concept). De fosfaatdesorptieconcentratie wordt uitgedrukt in $mg\ l^{-1}\ P$ (ppm P).

3.4 Meting van de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat (Q)

Het bepalen van de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat (Q) wordt uitgevoerd met behulp van de infinite sink methode. Hiertoe werd aan dezelfde KCl-oplossing, als gebruikt voor de meting van de fosfaatdesorptieconcentratie in oplossing, opnieuw een hoeveelheid KCl-oplossing toegevoegd, zodanig dat het totale volume van de KCl-oplossing circa 150 ml bedroeg. Hierna werd in de oplossing drie maal achtereenvolgens 16 uur een papiertje gehangen welke geïmpregneerd was met ijzerhydroxide. Vervolgens werd van de drie ijzerpapiertjes gezamenlijk de hoeveelheid vastgelegd fosfaat bepaald door deze te 'extraheren' met 0,2 M H₂SO₄. Tenslotte werd de fosfaatconcentratie in het 'extract' gemeten met de ICP/AES (SWVM 0038; SC-DLO). De hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat (Q) wordt uitgedrukt in mmol kg⁻¹ P. De gemeten hoeveelheid fosfaat die op de ijzerpapiertjes aanwezig is (P_i uitgedrukt in mmol kg⁻¹), wordt gecorrigeerd voor de hoeveelheid fosfaat die al in oplossing was op het moment dat het eerste ijzerpapiertje werd toegediend, kortom:

$$Q = P_i - \frac{c_p \text{ (ppm P)} * 50 \text{ (ml)}}{31 * m \text{ (gr)}} \quad (\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (8)$$

4 Fosfaatverzadiging en fosfaatuitspoeling

In bijlage 2 is een volledig overzicht gegeven van alle analyse resultaten. Voor de bespreking van de resultaten in de navolgende paragrafen zijn de resultaten omgerekend naar perceelsgemiddelden.

4.1 Fosfaattoestand van de percelen

In de tabel zijn de belangrijkste fosfaatkarakteristieken van de onderzochte percelen weergegeven als functie van de diepte.

Tabel Het gemiddelde van de fosfaatbezettingsfractie ($FBF = P_{ox} / (Al + Fe)_{ox}$), de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie ($DFBF = Q / (Al + Fe)_{ox}$) en de fosfaat-desorptieconcentratie (c_p) van de onderzochte percelen

Perceel	Diepte (cm-mv.)	n (-)	FBF (-)	DFBF (-)	c_p (ppm P)
natuur	0 20	4	0,085	0,007	0,06
	20 40	4	0,092	0,007	0,02
	40 60	2	0,052	0,006	0,02
grasland extensief	0 20	1	0,217	0,024	0,24
	20 40	2	0,178	0,020	0,13
	40 60	1	0,097	0,008	0,03
grasland intensief	0 20	4	0,332	0,100	0,31
	20 40	4	0,237	0,040	0,17
	40 60	4	0,209	0,015	0,08
maisland	0 20	5	0,745	0,349	1,93
	20 40	5	0,427	0,224	0,87
	40 60	5	0,180	0,064	0,20

Uit de tabel blijkt dat zowel de mate van fosfaatbezetting (FBF), de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie (DFBF) als de fosfaatdesorptieconcentratie in oplossing (c_p) van de percelen toeneemt in de volgorde: natuur < extensief grasland < intensief grasland << maisland. Tevens blijkt dat op alle percelen deze 'grootheden' ook met de diepte afnemen, conform de verwachting, aangezien fosfaat relatief sterk door de bodemdeeltjes wordt gebonden.

fosfaatbezettingsfractie (FBF)

De fosfaatbezettingsfractie van de bovengrond van het maisperceel is zeer hoog. Het gemiddelde van de eerste 40 cm bedraagt ca. 0,6. Dit betekent dat fosfaat dat via bemesting aan de bodem wordt toegediend, en niet door het gewas wordt opgenomen, nagenoeg niet meer in deze lagen gebonden zal worden. De zeer hoge fosfaatconcentraties in de mest (enkele tientallen mg P per liter) zullen via de bodemoplossing (dus

wel verdund) naar grotere diepten getransporteerd zullen worden. De gemiddelde hoogste grondwaterstand van de bemonsterde plaatsen in het maisperceel varieert van ca. 65 tot 15 cm - maaiveld, als gevolg van de sterke helling van het perceel (grondwaterstand relatief diep op grote afstand van de Mosbeek en zeer ondiep aan de grens met de Mosbeek). Het perceel kan geklassificeerd worden als een zeer sterk fosfaatverzadigd perceel. Verwacht mag dan ook worden dat ondiepe fosfaatuitspoeling op het maisperceel groot zal zijn als bemest wordt bij relatief hoge grondwaterstanden (vooral bij neerslag). Zelfs als het maisperceel niet meer bemest wordt, mogen fosfaatconcentraties in het ondiepe grondwater verwacht worden die enkele tientallen malen boven de norm zullen liggen die voor het ondiepe grondwater geldt ($0,15 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$). Omtrent de gevolgen hiervan voor de fosfaatconcentratie die in het oppervlaktewater optreedt, kan echter niets geconcludeerd worden.

Het graslandperceel dat intensief wordt gebruikt, bezit een duidelijk lagere fosfaatbezettingsfractie. Echter ook voor dit perceel geldt dat de fosfaatbezettingsfractie, gegeven de gemiddelde hoogste grondwaterstand (ca. 5 tot 35 cm -mv.), qua milieudoelstelling te hoog is (fosfaatverzadigd). Dit geldt zelfs voor het extensieve graslandperceel waar de GHG varieert van 55 cm tot 20 cm-mv. (FBF tot 40 cm-mv. ca. 0,20). Bij dit laatste perceel moet opgemerkt worden dat relatief weinig monsters in het laboratoriumonderzoek betrokken zijn geweest.

Het elzenbosje en het stukje beekoever met adelaarsvarens (GHG ongeveer 5 cm-mv.) bezitten in alle lagen van de bovengrond ($< 60 \text{ cm}$) een fosfaatbezettingsfractie van kleiner dan 0,1 en blijken daardoor (gelukkig) niet aan de definitie van een fosfaatverzadigde grond te voldoen.

Goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie (DFBF)

Uit tabel 1 blijkt dat het gemiddelde van de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie (DFBF), afhankelijk van het perceel en de diepte, varieert van 0,006 tot 0,35. Ten opzichte van de totale fosfaatbezettingsfractie (FBF) betekent dit dat zeker ca. 5 tot 45% van het gebonden fosfaat reversibel gebonden is. Zoals in hoofdstuk 2 al is aangegeven, bepaalt met name de desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie welke fosfaatconcentraties in de bodemoplossing zullen ontstaan.

fosfaatdesorptieconcentratie in oplossing (onder laboratoriumomstandigheden)

De in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentraties (c_p) blijken alleen voor de monsters die afkomstig zijn van plaatsen die in natuur zijn gelegen beneden de norm te liggen die voor het grondwater geldt ($0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$). De hoogste fosfaatconcentraties (oplopend tot gemiddeld ca. $2 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$) worden gemeten bij monsters die afkomstig zijn uit de bovengrond (0-20 cm) van het maisperceel en welke beschouwd kunnen worden als volledig met fosfaatverzadigde monsters. Deze fosfaatconcentraties zijn ongeveer 20 maal zo hoog als de norm die voor het grondwater geldt ($0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$). Opgemerkt moet worden dat alle in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentraties lager zijn dan de fosfaatdesorptieconcentraties die in de praktijk in de bodemoplossing gemeten zullen worden. Dit wordt veroorzaakt doordat soms een aanzienlijk deel van het geadsorbeerde fosfaat (Q) in het oplossing is gekomen als gevolg van de lage grond-vloeistof-verhouding bij de meting van c_p . Echter de gemeten fosfaatconcentraties (c_p) zijn naar verwachting wel

in evenwicht met de op dat moment nog resterende hoeveelheid goed desorbeerbaar fosfaat op het oppervlak (Q), zodat uit deze evenwichtssituaties van de monsters nog wel de gemiddelde fosfaatdesorptie-isotherm afgeleid kan worden.

4.2 Fosfaatdesorptie-isotherm

Indien wordt uitgegaan van de procesformulering voor de relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de bijbehorende fosfaatconcentratie in oplossing kan een schatting worden gegeven van de gemiddelde fosfaatdesorptie-parameters van alle onderzochte monsters.

Figuur 1 geeft een beeld van de relatie tussen de fosfaatconcentratie in oplossing (c_p) en de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie ($DFBV=Q/(Al+Fe)_{ox}$), waarbij de getallen in de figuur de hoogte van de fosfaatbezettingsfractie ($P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$) aangeven.

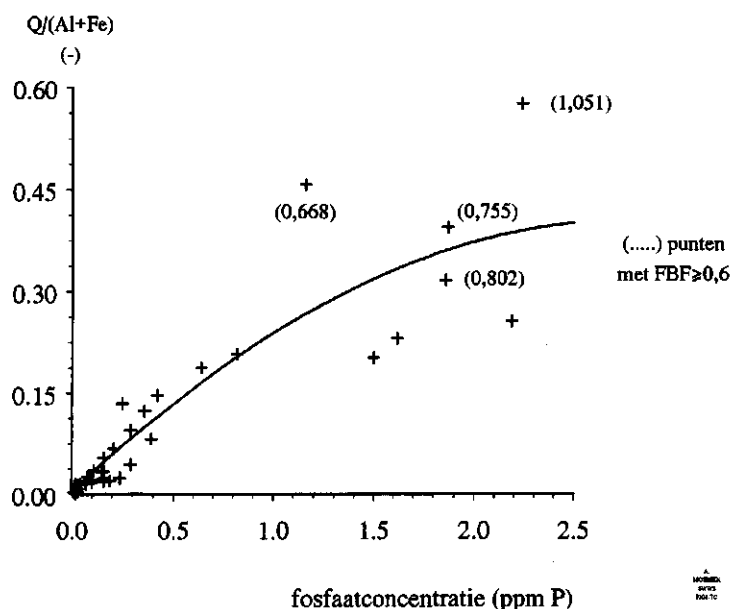


Fig. 1 Gestandaardiseerde fosfaatdesorptie-isotherm (alle monsters)

Uit figuur 1 blijkt dat boven een c_p concentratie van ca. 1 ppm P de spreiding sterk toeneemt, hetgeen door de relatieve hoge fosfaatbezettingsfractie (ca. $0,5 < FBF < 1,0$) van de betreffende monsters wordt veroorzaakt. De kans bestaat dat als gevolg van sterke overbemesting bij deze monsters relatief goed oplosbare fosfaat-zouten zijn *geprecipiteerd*, welke zowel de fosfaatconcentratie beïnvloeden als de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie (DFBF) hebben doen overschatten. Indien verondersteld wordt dat de maximale hoeveelheid gesorbeerd fosfaat, dit is geadsorbeerd (Q) en gediffundeerd (S) fosfaat, beschreven kan worden door (hoofdstuk 2): $FBV_{tot} = 0,5 (\pm 0,1) (Al+Fe)_{ox}$ kunnen mogelijke 'fosfaatprecipitaat verontreinigingen' geëlimineerd worden (FBF moet kleiner zijn dan 0,6). Volgens de huidige fosfaatdesorptie theorie (hoofdstuk 2) moet dan gelden:

$$\frac{Q}{(Al + Fe)_{ox}} = \frac{K \cdot c_p \cdot \beta}{1 + K \cdot c_p} \quad (9)$$

Figuur 2 geeft de resultaten van de monsters met een FBF-waarde < 0,6 en de via niet-lineaire regressie gefitte lijn ($K = 0,915 \text{ (l mg}^{-1}\text{)}$, $\beta = 0,394 \text{ (-)}$ en $V^2 = \text{percentage verklaarde variantie van de gefitte lijn} = 90.2 \text{ (\%)}$).

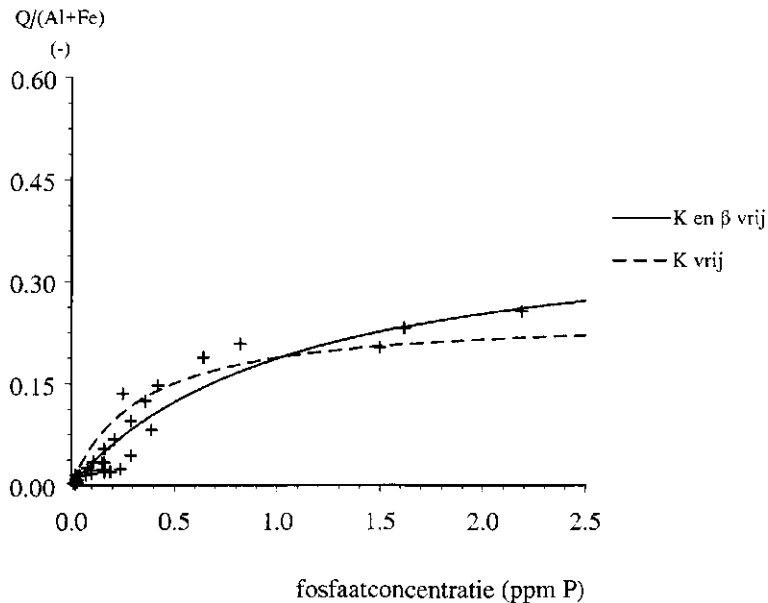


Fig. 2 Gestandaardiseerde fosfaatdesorptie-isotherm (monsters met FBF < 0,6)

Hieruit blijkt dat de gestandaardiseerde Langmuirvergelijking (vgl. 9) de resultaten relatief goed beschrijft. De gevonden K -waarde ligt dicht bij de waarde die gebruikt wordt voor het vaststellen van het criterium van een fosfaatverzadigde grond ($K=1,13 \text{ l mg}^{-1}$). De β -waarde ligt echter hoger (0,39 i.p.v. 0,2). Uit figuur 2 blijkt dat de monsters wel naar deze waarde tenderen (ca. 0,25), maar dat de regressie uiteindelijk een hogere β -waarde (0,39) inschat, die pas bereikt zal worden bij zeer hoge fosfaatdesorptieconcentraties. Indien een β -waarde wordt opgelegd (b.v. 0,25) wordt een K -waarde gevonden van 1,913 (gestippelde lijn in figuur 2), waardoor de fitting bij lage fosfaatconcentraties echter wordt verslechterd ($V^2=85,3$). Waarschijnlijk kan in dit lage fosfaatconcentratietraject het verband verbeterd worden als de meting van de fosfaatevenwichtsconcentratie (in het vervolg) plaatsvindt bij een hogere grondvloeistof-verhouding. Vooralsnog lijkt het erop dat de voor het onderhavige onderzoek ontwikkelde goedkope methodiek voor het afleiden van een gemiddelde desorptie-isotherm redelijk voldoet. De methode zal dan ook naar verwachting bruikbare resultaten leveren voor de voorspelling van de fosfaatconcentraties die uiteindelijk in de bodemoplossing zullen heersen (m.b.v. modelberekeningen; bij achterwege blijven van bemesting).

5 Conclusies

Om de fosfaattoestand van een viertal percelen, die gelegen zijn aan de Mosbeek, milieukundig te kunnen analyseren zijn een aantal fosfaatkarakteristieken bepaald, te weten:

- oxalaat extraheerbaar P, Al en Fe als maat voor de mate van fosfaatbezetting van de bodem ($FBF = \text{fosfaatbezettingsfractie} = P_{\text{ox}} / (Al+Fe)_{\text{ox}}$);
- fosfaatdesorptie-concentratie in oplossing (c_p) als maat voor de kans op fosfaatuitspoeling;
- hoeveelheid goed desorbeerbaar fosfaat (Q) als maat voor de potentiële hoeveelheid fosfaat die kan gaan uitspoelen;
- fosfaatprocesparameters van de gemiddelde (gestandaardiseerde) fosfaatdesorptie-isotherm ($Q / (Al+Fe)_{\text{ox}}$ versus c_p) (dit zijn de basisparameters voor de ANIMO-P-module, teneinde het verloop van de fosfaatuitspoeling voor veldsituaties te kunnen simuleren).

Op grond van de analyse resultaten kan het volgende geconcludeerd worden:

- De fosfaatbezettingsfractie van de bovengrond (0-60 cm) van de vier percelen neemt toe in de volgorde: natuur < extensief grasland < intensief grasland << maisland. Tevens neemt op alle percelen de fosfaatbezettingsfractie met de diepte af.
- Alle bemonsterde punten zijn volgens de definitie van een fosfaatverzadigde grond fosfaatverzadigd, behalve de punten die in een klein natuurgebied (elzenbosje en stukje beekoever met adelaarsvarens) zijn gelegen.
- Afhankelijk van het perceel en de diepte van de bemonsterde laag varieert de hoeveelheid goed desorbeerbaar fosfaat van ongeveer 5 tot 45%.
- De in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentraties in oplossing lopen op tot concentraties die ca. 20 maal zo hoog zijn als de norm die voor het grondwater geldt ($0,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$). Dit is naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting voor de veldsituatie, aangezien de grond-vloeistof-verhouding in het laboratorium relatief laag was (2,5 gr grond : 100 ml oplossing).
- Het verband tussen de goed desorbeerbare fosfaatbezettingsfractie ($Q / (Al+Fe)_{\text{ox}}$) en de in het laboratorium gemeten fosfaatdesorptieconcentratie (c_p) voldoet redelijk goed aan de gestandaardiseerde Langmuirvergelijking, indien monsters waarbij de kans bestaat dat fosfaatprecipitaten aanwezig zijn buiten beschouwing worden gelaten.
- Dit houdt in dat de voor deze studie ontwikkelde nieuwe techniek voor het op goedkope en eenvoudige wijze bepalen van de gemiddelde (gestandaardiseerde) desorptie-isotherm, ook redelijk blijkt te voldoen.

Literatuur

Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijtema en L.J. Locht, 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 55.

Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. *Serie Bodembescherming* nr. 9. Den Haag, Staatsuitgeverij.

Reijerink, J.G.A. en A. Breeuwsma, 1992. *Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 222.

Schoumans, O.F., W. de Vries en A. Breeuwsma, 1986. *Een fosfaat-transportmodel voor toepassing op regionale schaal*. Wageningen, STIBOKA, Rapport nr. 1951.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse en R. Zwijnen, 1991. *De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal en fosfaatverzadiging bij zandgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 112.

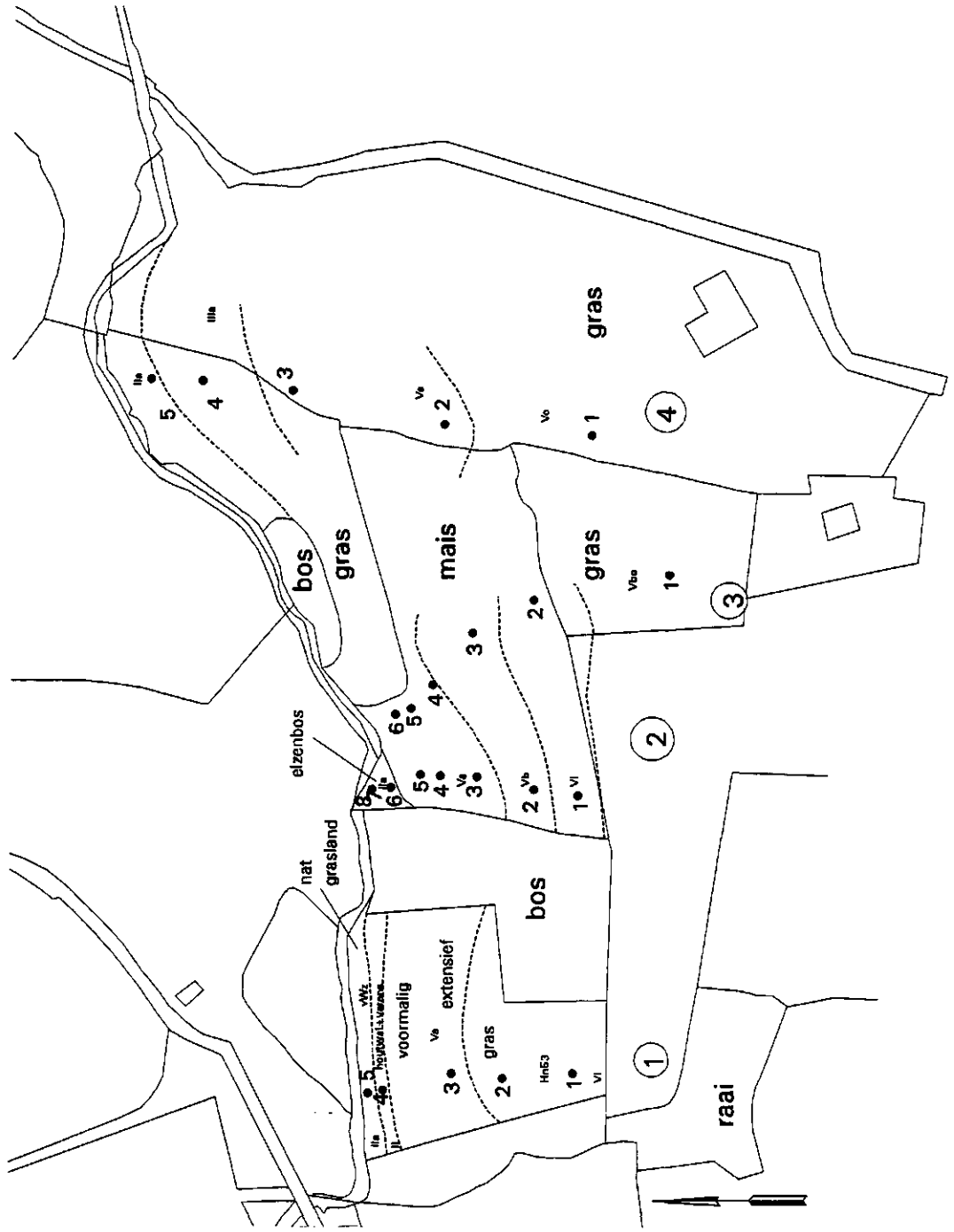
Riemsdijk, W.H. van, 1979. *Reaction Mechanisms of phosphate with $Al(OH)_3$ and a sandy soil*. Ph.D. thesis, Wageningen, Agricultural University.

Zee, S.E.A.T.M. van der, 1988. *Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems*. Ph.D., Wageningen, Agricultural University.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. Van Riemsdijk and F.A.M. de Haan, 1990a. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting*. Wageningen, Landbouwniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. Van Riemsdijk and F.A.M. de Haan, 1990b. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking*. Wageningen, Landbouwniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding.

Aanhangsel 1 Ligging bemonsterde punten op de onderzoekslocatie



Aanhangsel 2 Analyseresultaten van de bemonsterde lagen

raai	plaats	laag	bodem- gebruik	mop- nummer	concen- tratie (mg l ⁻¹)	Q	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	Al _{ox} ⁺ Fe _{ox}	Q/ (Al+Fe) _{ox} (-)	P _{ox} / (Al+Fe) _{ox} (-)	Q*100 (%)
1	1	2	2	27953	0,16	1,0	8,7	26,2	19,8	46,1	0,023	0,189	11,9
1	1	3	2	27954	0,03	0,5	6,0	57,4	4,9	62,2	0,008	0,097	8,0
1	3	1	2	27958	0,24	1,3	12,0	17,8	37,7	55,5	0,024	0,217	11,1
1	3	2	2	27959	0,10	0,9	8,8	27,6	25,0	52,6	0,017	0,167	10,0
1	4	1	1	27961	0,19	1,0	10,0	21,4	28,8	50,2	0,020	0,199	10,1
1	4	2	1	27962	0,02	0,3	3,9	40,4	11,7	52,1	0,006	0,076	7,3
1	4	3	1	27963	0,02	0,2	2,8	49,9	4,3	54,1	0,004	0,051	7,4
1	5	1	1	27964	0,02	0,2	8,4	188,0	49,7	237,4	0,001	0,035	2,3
1	5	2	1	27965	0,02	0,7	2,7	45,7	1,5	47,2	0,015	0,056	26,3
1	5	3	1	27966	0,02	0,6	3,7	67,7	1,5	69,2	0,009	0,053	16,6
2	1	2	4	27968	0,11	2,2	10,7	45,5	17,2	62,7	0,035	0,170	20,6
2	1	3	4	27969	0,04	0,9	6,7	52,7	9,4	62,1	0,015	0,108	13,7
2	3	1	4	27973	1,86	18,2	46,2	25,9	31,7	57,7	0,316	0,802	39,4
2	3	2	4	27974	0,64	6,7	16,4	21,9	13,9	35,8	0,188	0,457	41,1
2	4	1	4	27976	1,87	17,1	32,9	17,7	25,9	43,6	0,394	0,755	52,1
2	4	3	4	27978	0,16	1,0	3,9	10,3	8,5	18,9	0,054	0,205	26,6
2	5	1	4	27979	1,50	14,5	39,5	51,4	19,7	71,1	0,203	0,556	36,6
2	5	2	4	27980	0,82	9,2	15,5	36,3	7,8	44,0	0,208	0,351	59,3
2	5	3	4	27981	0,16	1,9	9,7	52,9	3,6	56,5	0,034	0,171	19,6
2	6	1	1	27982	0,03	0,3	4,0	6,4	71,5	77,9	0,004	0,052	7,5
2	6	2	1	27983	0,02	0,4	10,6	14,7	55,9	70,6	0,005	0,150	3,6
2	8	1	1	27988	0,02	0,2	10,4	27,0	166,1	193,1	0,001	0,054	2,4
2	8	2	1	27989	0,01	0,2	8,0	21,8	69,2	91,0	0,003	0,087	3,1
3	5	1	4	28003	2,24	17,8	32,5	20,7	10,2	30,9	0,576	1,051	54,8

Aanhangsel 2 Vervolg

raai	plaats	laag	bodem- gebruik	mop- nummer	concen- tratie (mg l ⁻¹)	Q	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	Al _{ox} + Fe _{ox}	Q/ (Al+Fe) _{ox} (-)	P _{ox} / (Al+Fe) _{ox} (-)	Q*100 (%)
3	5	2	4	28004	1,16	11,6	17,0	18,7	6,8	25,5	0,457	0,668	68,3
3	5	3	4	28005	0,25	3,2	4,0	22,3	1,2	23,6	0,135	0,170	79,4
3	6	1	4	28006	2,19	13,4	30,2	29,1	23,3	52,4	0,256	0,577	44,3
3	6	2	4	28007	1,62	9,6	20,3	24,8	16,6	41,4	0,231	0,490	47,1
3	6	3	4	28008	0,39	3,1	9,5	31,5	7,0	38,5	0,082	0,248	33,0
4	1	1	3	28009	0,36	9,1	23,6	33,6	39,5	73,1	0,124	0,323	38,4
4	1	2	3	28010	0,29	4,2	27,5	45,4	51,6	96,9	0,044	0,283	15,4
4	1	3	3	28011	0,16	1,6	21,1	42,0	46,8	88,8	0,019	0,238	7,8
4	2	1	3	28012	0,29	8,3	27,9	45,2	41,8	87,0	0,095	0,321	29,6
4	2	2	3	28013	0,08	2,2	14,3	45,2	37,4	82,6	0,026	0,173	15,2
4	2	3	3	28014	0,03	0,7	6,9	32,6	20,5	53,2	0,014	0,129	10,5
4	4	1	3	28018	0,42	10,5	30,7	38,8	33,0	71,8	0,147	0,427	34,4
4	4	2	3	28019	0,21	4,8	17,8	33,0	38,0	71,0	0,068	0,251	27,0
4	4	3	3	28020	0,04	1,2	15,0	29,7	56,5	86,3	0,014	0,173	7,9
4	5	1	3	28021	0,15	3,4	27,2	40,3	65,4	105,7	0,033	0,257	12,7
4	5	2	3	28022	0,10	2,6	29,2	40,8	81,1	121,9	0,022	0,239	9,0
4	5	3	3	28023	0,07	1,4	27,1	48,4	43,5	91,9	0,015	0,295	5,2

Toelichting bodemgebruikscodes (bg)

- 1 = natuur (elzenbosje en stukje beekoever met adelaarsvarens)
- 2 = extensief gebruikt grasland
- 3 = intensief gebruikt grasland
- 4 = maisland