

Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het  
stroomgebied van de Schuitenbeek

32/446 (10) 2<sup>e</sup> ex.

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het  
stroomgebied van de Schuitenbeek

A. Breeuwsma  
J.G.A. Reijerink  
O.F. Schoumans

D.J. Brus  
H. van het Loo

Rapport 10

STARING CENTRUM, Wageningen, 1989



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS

0000 0347 3887

13 DEC. 1989

YSN 501462 \*

## REFERAAT

A, Breeuwsma, J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus, H. van het Loo, 1989. Fosfaatbelasting van bodem-, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Wageningen, Staring Centrum.  
Rapport 10. 92 blz., 11 afb., 5 kaarten.

In verband met de eutrofiëring in het Wolderwijd-Muldernaauw is onderzoek verricht naar de bijdrage van de landbouw aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater in de Schuitenbeek, tussen Putten en Nijkerk. Uit het bodemonderzoek blijkt dat de bodem in belangrijke mate met fosfaat verzadigd is. Daardoor zijn de fosfaatgehalten in het grondwater bij ondiepe grondwaterstanden ook hoog.

De fosfaatbelasting uit landbouwgronden in dit gebied is hoofdzakelijk een gevolg van uitspoeling uit de bodem, en niet van afspoeling. Het aandeel van de landbouw aan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater bedraagt ongeveer 60-80%. In aanvulling op de mestwetgeving zijn andere maatregelen nodig om tot een vermindering van de fosfaatuitspoeling te komen.

Trefwoorden: fosfaatgehalten in bodem- en grondwater, fosfaatverzadiging, fosfaatuitspoeling, fosfaatbelasting oppervlaktewater, landbouwgronden.

Copyright 1989

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370 - 19100; telefax: 08370 - 24812; telex: 75230 VISI-NL

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

Het 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 en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

INHOUD	Blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	13
2 OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	15
2.1 Het Schuitenbeekgebied <i>→ algemeen</i>	15
2.2 Bodemkartering en -bemonstering	18
2.3 Verwerking van de steekproefgegevens	20
2.4 Grondwaterbemonstering	21
2.5 Laboratoriumanalyses	22
3 BODEMGESTELDHEID	25
3.1 Bodemkaart	25
3.2 Beschrijving van de bodemeenheden	26
3.2.1 Podzolgronden	26
3.2.2 Enkeerdgronden	28
3.2.3 Beekdalgronden	28
3.2.4 Overige vaaggronden	29
3.2.5 Overige samengestelde bodemeenheden	30
3.2.6 Bebouwing	30
3.3 Beschrijving van de grondwatertrap-eenheden	30
4 FOSFAATVERZADIGINGSTOESTAND VAN DE BODEM	33
4.1 Fosfaatbindend vermogen	33
4.2 Fosfaatgehalte	35
4.3 Fosfaatverzadiging	39
4.3.1 Criteria	39
4.3.2 Fosfaatverzadigingsgraad en fosfaatverzadigd oppervlak	41
5 FOSFAATBELASTING VAN HET GRONDWATER	45
6 FOSFAATUITSPOELING NAAR HET OPPERVLAKTEWATER	49
6.1 Schatting van de waterafvoer	49
6.2 Schatting van de totaal-fosfaatgehalten in de afvoer	51
6.2.1 Oppervlakte-afvoer	52
6.2.2 Grondwaterafvoer	52
6.2.2.1 Fosfaatgehalten gemeten in grondwater	52
6.2.2.2 Fosfaatgehalten afgeleid uit de bodemgegevens	54
6.3 Totale af- en uitspoeling van fosfaat	55
6.3.1 Huidige situatie	55
6.3.1.1 Oppervlakte-afvoer	55
6.3.1.2 Grondwaterafvoer	56
6.3.1.3 Totale af- en uitspoeling	58
6.3.2 Toekomstige ontwikkeling	60
7 BIJDRAGE VAN DE LANDBOUW AAN DE FOSFAATBELASTING VAN DE SCHUITENBEEK	61

8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	63
	LITERATUUR	67
	AANHANGSELS	
1	Indeling, oppervlak en aantal steekproefpunten van de groepen van kaarteenheden die voor de gegevensverwerking zijn samengesteld	71
2	Grondwatertrappenindeling en indeling van (associaties van) grondwatertrappen in Gt-eeenheden	73
3	Steekproefpunten voor de bodembemonstering	75
4	Statistische verwerking van de steekproefgegevens	77
5	Bepaling van de dichtheid met de steekboor	85
6	Woordenlijst	87
	TABELLEN	
1	Aantal en verdeling van de steekproefpunten naar bodemgebruik	20
2	Procentuele verdeling van grondwatertrappen in het gebied en grondwatermonsters onder grasland	22
3	Oppervlakten van bodemeenheden en grondwatertrappen	26
4	Oppervlakte en aantal steekproefpunten van de grondwatertrap-eeenheden	31
5	De GHG, het fosfaatbindend vermogen tot de GHG, en het actuele fosfaatgehalte van cultuurland voor de belangrijkste groepen van kaarteenheden	35
6	Gemiddeld fosfaatgehalte van de laag 0-50 cm - mv. per bodemgebruiksvorm	36
7	Gemiddeld fosfaatgehalte van de laag 0-50 cm - mv. van cultuurgronden per groep van grondwatertrappen	38
8	Gehanteerde bodemgegevens in alternatieve definities voor een fosfaatverzadigde grond	40
9	Percentage cultuurland per groep van kaarteenheden dat gemiddeld voor meer dan 35% tot aan de GHG verzadigd is met fosfaat	44
10	Oppervlaktepercentage per bodemgebruiksvorm dat gemiddeld voor meer dan 35% tot aan de GHG verzadigd is met fosfaat	44
11	Gemiddelde oppervlakte-afvoer (surface runoff) en grondwaterafvoer per grondwatertrap	50
12	Aangenomen diepte van het afvoerend pakket per drainagesysteem	51
13	Procentuele verdeling van de grondwaterafvoer over de drie drainagesystemen	51
14	Gemiddelde totaal-P-gehalten per drainagesysteem en grondwatertrap gebaseerd op metingen in het grondwater	53

		Blz.
15	Gemiddelde totaal-P-gehalten per drainagesysteem en grondwatertrap gebaseerd op fosfaatgehalten gemeten in de bodem	55
16	Ruwe schatting van de gemiddelde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door landbouwgronden in het Schuitenbeekgebied	59
17	Gemiddelde totaal-fosfaatvruchten en debietgemiddelde totaal-P-gehalten bij de monding van de Schuitenbeek	62
18	Bijdrage van de verschillende bronnen aan de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek.	62

#### FIGUREN

1	Ligging van het Schuitenbeekgebied	16
2	Cultuur- en natuurgronden in het Schuitenbeekgebied	17
3	Frequentieverdeling van het actuele fosfaatgehalte van veldpodzolgronden onder cultuurland	38
4	Relatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de cultuurgronden	42
5	Cumulatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de cultuurgronden	42
6	Totaal-P-gehalten in het ondiepe grondwater van cultuurgronden tijdens de winter van 1987-1988 op de bemonsteringsdiepte	46
7	Percentage monsters onder grasland dat een bepaald fosfaatgehalte van het ondiepe grondwater in de winter overschrijdt (onderverdeling naar grondwatertrap)	47
8	Percentage monsters onder grasland dat een bepaald fosfaatgehalte van het ondiepe grondwater overschrijdt (winter- en zomerperiode)	47
9	Voorbeeld van een geschematiseerd verloop van het fosfaatgehalte in het grondwater met de diepte	53
10	Cumulatieve verdeling van de fosfaatuitspoeling gebaseerd op grondwatergegevens	57
11	Cumulatieve verdeling van de fosfaatuitspoeling gebaseerd op bodemgegevens	57

#### KAARTEN

1	Bodemkaart van het Schuitenbeekgebied, schaal 1 : 50 000
2	Groepen van grondwatertrappen in het Schuitenbeekgebied, schaal 1 : 50 000
3	Fosfaatbindend vermogen tot de gemiddeld hoogste grondwaterstand
4	Fosfaatgehalte van de laag 0-50 cm - mv. van cultuurgronden
5	Fosfaatverzadigingsgraad van cultuurgronden

## WOORD VOORAF

Het onderzoek dat in dit rapport is beschreven, is verricht in opdracht van de BOVAR-stuurgroep in het kader van het project "Bestrijding Overmatige Algenbloei in de Randmeren".

Het onderzoek werd begeleid door de BOVAR-deelprojectgroepen 1 en 5 bestaande uit:

- Ir. M. Snijdelaar, RWS Directie Flevoland, projectbureau BOVAR, projectleider;
- Ir. L.J. Kappe, RWS Directie Flevoland, projectbureau BOVAR, assistent-projectleider;
- Ir. M. van Oirschot, RWS, DBW-RIZA;
- Dr.Ir. Th.J. van de Nes, voorzitter, Ir. G.J. van Eyk, Ir. Y. Geelen, Ing. J. Paas, Drs. W. Rietveld, Provincie Gelderland;
- Drs. W. Oosterloo, Ir. J. van Kempen, Zuiveringsschap Veluwe;
- Ing. A. Mulder, Waterschap Noord-Veluwe;
- Ing. P. Nicolai, Consulentschap voor de Rundveehouderij in Gelderland;
- Ing. G.J. Koerselman, Landinrichtingsdienst, Provincie Gelderland;
- Ir. J.W. Corver, VROM.

De opzet en resultaten van het onderzoek zijn verder besproken met de besturen van de landbouworganisaties in de regio Putten/Nijkerk/Voorthuizen onder leiding van medewerkers van het Consulentschap voor de Rundveehouderij in Gelderland (Ing. P. Nicolai) en de Landbouwvoorlichting (Ing. T. van Schaik).

De auteurs zijn verder dank verschuldigd aan G. Ebbers, Ing. J.P. Chardon en Ing. W.J.M. te Riele voor hun medewerking aan het veldbodemkundig onderzoek, H. de Wijer voor de produktie van de kaarten met behulp van de computer, mw. L.C. van Liere

voor de tekstverwerking, R.A. Koning, R.Ch. Sjardijn en R. Zwijnen voor de bodemchemische analyses en aan DBW-RIZA voor het uitvoeren van een deel van de grondwateranalyses.



## SAMENVATTING

Uit eutrofiëringsonderzoek in het Wolderwijd-Nulderneauw in de periode 1976-1979 is gebleken dat de fosfaatbelasting van dit randmeer voor ongeveer 55% afkomstig was van de landbouw. Dit werd vastgesteld aan de hand van een stoffenbalans waarbij de landbouwbijdrage als restpost werd bepaald. Daardoor werd geen inzicht verkregen in de weg waarlangs het fosfaat in het oppervlaktewater terechtkomt en de maatregelen die nodig zijn om de fosfaatbelasting door de landbouw terug te kunnen dringen. Het maakt daarbij een groot verschil of deze belasting tot stand komt via afspoeling over het bodemoppervlak of via uitspoeling uit de bodem. Vooral over de mogelijke omvang van de fosfaatuitspoeling was tot dusver weinig bekend. Daarom heeft de vroegere Stichting voor Bodemkartering, in opdracht van de Stuurgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algenbloei Randmeren) een onderzoek verricht naar de fosfaattoestand van de bodem en de te verwachten gevolgen voor de fosfaatuitspoeling in het stroomgebied van de Schuitenbeek.

De Schuitenbeek bevindt zich in de Gelderse Vallei tussen Putten, Nijkerk en Voorthuizen, en watert af op het Wolderwijd-Nulderneauw. Het onderzochte gebied (6800 ha) omvat het grootste deel van het areaal met zichtbare afwatering. De cultuurgronden bestaan voor ongeveer 80% uit grasland. In dit gebied werd een hernieuwde bodem- en grondwatertrapkartering uitgevoerd en een bemonstering van bodem en grondwater.

Het grondwater werd op 60-70 plaatsen bemonsterd rond het moment dat het niveau van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) was bereikt. De bodem werd via een aselechte steekproef op 334 plaatsen bemonsterd. In de grondwatermonsters werd het ortho-fosfaat en/of totaal-fosfaatgehalte bepaald en in de bodemonsters het oxalaat-extraheerbare fosfor-, aluminium- en ijzer-

gehalte. Uit de bodemkaart en laatstgenoemde gegevens werden het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatverzadigingstoestand van het gebied afgeleid. De fosfaatgehalten in de bodem blijken hoog te zijn. De gehalten in het grondwater zijn bij hoge grondwaterstanden eveneens hoog. Uit het bodemonderzoek kan worden afgeleid, dat het fosfaatgehalte van het grondwater op GHG-niveau de norm voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater (0,15 mg totaal-P per liter) bij ongeveer 70% van de cultuurgronden het gebied overschrijdt. Uit de grondwateranalyses volgt, dat dit bij 80% van de punten het geval is. Het betreft hier vooral de gronden met een ondiepe tot matig diepe grondwaterstand (grondwatertrap III/V resp. VI).

De gemeten en via bodemgegevens afgeleide fosfaatgehalten zijn gecombineerd met schattingen van de waterafvoer voor de berekening van de uit- en afspoeling van fosfaat. Daaruit blijkt dat de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater voor het overgrote deel (80-90%) afkomstig is van ondiepe uitspoeling (snelle afvoer). Vergelijking met de gemeten fosfaatafvoer door de Schuitenbeek toont aan, dat gemiddeld ongeveer 60-80% afkomstig is van de landbouw. In de toekomst zal de fosfaatuitspoeling nog enigszins toenemen, zolang nog overbemesting met fosfaat optreedt.

Uit de literatuur is bekend dat een deel van het in de bodem vastgelegde fosfaat weer langzaam vrijkomt. De fosfaatuitspoeling kan daardoor nog lange tijd, vermoedelijk minstens enkele tientallen jaren, op een hoog niveau blijven.

Het Schuitenbeekgebied zal in de toekomst vermoedelijk voor een belangrijk deel onder de Regeling Fosfaatverzadigde Gronden vallen. Het opleggen van de eindnorm voor fosfaatverzadigde gronden gaat echter alleen een verdere toename van de fosfaatuitspoeling tegen. Er zijn daarom extra, gebiedsgerichte, maatregelen nodig om tot een vermindering te komen. Daartoe zouden onder andere de mogelijkheden van ingrepen in de water- en fosfaathuishouding via drainage, peilbeheer en toediening van aluminium- en ijzeroxiden moeten worden nagegaan.

## 1 INLEIDING

De waterkwaliteit van de randmeren die door de inpoldering van Flevoland zijn ontstaan, wordt ongunstig beïnvloed door de aanvoer van stikstof en fosfaat (Snijdelaar, 1983). Het terugdringen van deze externe fosfaatbelasting is een van de belangrijkste doelstellingen van het waterkwaliteitsbeheer met betrekking tot de randmeren (IMP Milieubeheer 87-91). De verrijking met voedingsstoffen (eutrofiëring) leidt tot algenbloei, minder doorzicht en andere verstoringen van het ecosysteem. In verband hiermee is onder meer onderzoek verricht naar de fosfaatbelasting van het Wolderwijd-Nulderneau (PER, 1982). Daaruit bleek dat 65% van de totale fosfaatbelasting afkomstig was van de beken. De Schuitenbeek was verantwoordelijk voor 60% van de fosfaataanvoer via de beken, wat overeenkomt met ongeveer 40% van de totale (externe) belasting van het randmeer (Eulen, 1983). Uit dit onderzoek kwam verder naar voren, dat de fosfaatbelasting van de beken voor 70% uit diffuse bronnen afkomstig is. Daarbij werd verondersteld dat deze belasting wordt veroorzaakt door fosfaat uit landbouwgronden. Tot het begin van de jaren tachtig is aangenomen, dat het voornamelijk om afspoeling over het oppervlak zou gaan (Uunk, mond. med.). Uit een analyse van N- en P-vrachten in enkele Veluwe beken kwam de aanwijzing naar voren, dat ook (ondiepe) uitspoeling een rol zou kunnen spelen (Nijboer, 1986). Uit berekeningen van de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA) is bovendien gebleken, dat in mestoverschotgebieden de bodem plaatselijk reeds tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) met fosfaat verzadigd kan zijn (o.a. Breeuwsma en Schoumans, 1986). In deze situatie is vooral in natte winters uitspoeling van fosfaat via de bodem te verwachten. Voor het nemen van maatregelen is het van belang het proces van de fosfaatuitspoeling en de mogelijke omvang ervan te kennen.

In verband hiermee heeft de Stuurgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algenbloei in de Randmeren), die het eutrofiëringsonderzoek van de randmeren coördineert, aan STIBOKA en ICW opdracht gegeven onderzoek te verrichten naar:

- 1 het proces van de uitspoeling op perceelsniveau en
- 2 de fosfaattoestand van de bodem en de uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater op regionaal niveau in het Schuitenbeekgebied.

Het onderzoek naar de fosfaatuitspoeling uit een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond dat door ICW en STIBOKA werd uitgevoerd, is ondertussen afgerond (Steenvoorden et al., 1988). Het regionale onderzoek van bodem en grondwater dat door STIBOKA is verricht, wordt in dit rapport beschreven. Naast een bemonstering van bodem en grondwater vond ook een bodemkartering plaats. De reden hiervoor is dat dit gebied gekarteerd werd in de periode 1959-1960 toen de huidige legenda (De Bakker en Schelling, 1966) nog niet bestond. Daardoor bevat de bodemkaart (blad 32 Oost, Amersfoort) veel associaties die voor dit onderzoek niet bruikbaar zijn. Bovendien is actuele informatie over de grondwaterstanden in het gebied van groot belang.

De methodiek van de kartering, bemonstering en laboratoriumanalyses wordt in hoofdstuk 2 beschreven en de bodemgesteldheid in hoofdstuk 3. De fosfaatverzadigingstoestand van het gebied is afgeleid uit metingen van het fosfaatgehalte en het fosfaatbindend vermogen en van de bodemkaart (hoofdstuk 4). Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van het grondwateronderzoek. De huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater komt aan de orde in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 wordt de bijdrage van de landbouw aan de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek besproken. Hoofdstuk 8 bevat de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

## 2 OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

### 2.1 Het Schuitenbeekgebied

Het onderzochte deel van het Schuitenbeekgebied (6800 ha, fig. 1) is door blokken (cellen) aangegeven. De oostgrens van het stroomgebied ligt vrij ver buiten het onderzoeksgebied. Dit heeft geen gevolgen voor de berekening van de fosfaatuitspoeling via de snelle afvoer, omdat de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater hier laag is door de aanwezigheid van bos en de afwezigheid van waterlopen. Aan de noordkant ligt nog een smalle strook van gemiddeld ongeveer 500 meter breed buiten het onderzoeksgebied. Aan de west- en zuidzijde ligt de grens van het onderzoeksgebied juist iets buiten het stroomgebied. Ook deze verschillen in begrenzing hebben naar verwachting geen invloed op de belangrijkste onderzoeksresultaten.

Het stroomgebied van de Schuitenbeek helt sterk van oost naar west en (minder sterk) van zuid naar noord. Het hoogste punt (75 m + NAP) ligt op de Veluwe ten oosten van Putten en het laagste deel in de noordwesthoek (1 m + NAP). Hiermee samenhangend ligt het hoogste punt van de beekdalen in het oosten en het laagste punt in het westen of noord-westen.

De Schuitenbeek is de belangrijkste beek in het gebied. De benedenloop mondt ongeveer 700 meter ten noorden van het onderzoeksgebied uit in het Wolderwijd-Nulderneauw. De Schuitenbeek heeft meerdere bovenlopen. De hoofdtakken worden gevormd door de Schuitenbeek zelf, die ontspringt ter hoogte van de Prinsenkamp bij Voorthuizen (Fig. 1, cel 4), en de Veldbeek die in het iets noordelijker gelegen Veenhuizerveld begint. De Veldbeek mondt uit in de Schuitenbeek bij de spoorlijn Zwolle-Amersfoort (cel 9). Het grootste, zuidelijke deel van het gebied (cel 1-10, 17, plus een deel van 11 en 12, ongeveer 4800 ha) watert op dit punt af. Omdat de fosfaatbelasting van dit deel van de Schuitenbeek niet door riooloverstorten wordt

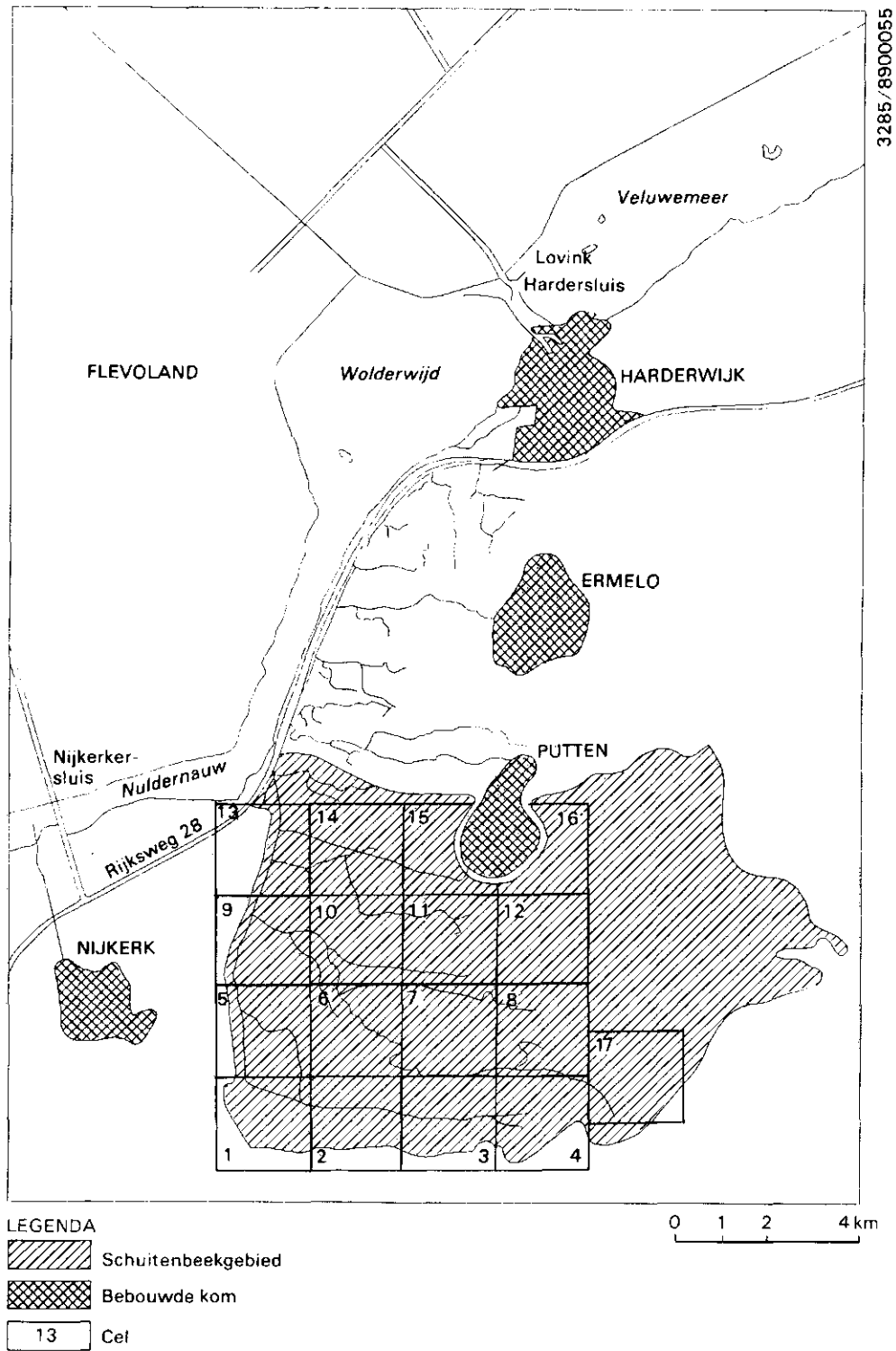


Fig. 1 Ligging van het Schuitemeekgebied.

LEGENDA

- NATUURGEBIED
- CULTUURGEBIED
- WATERLOOP
- WEG
- SCHUITENBEEK-  
GEBIED

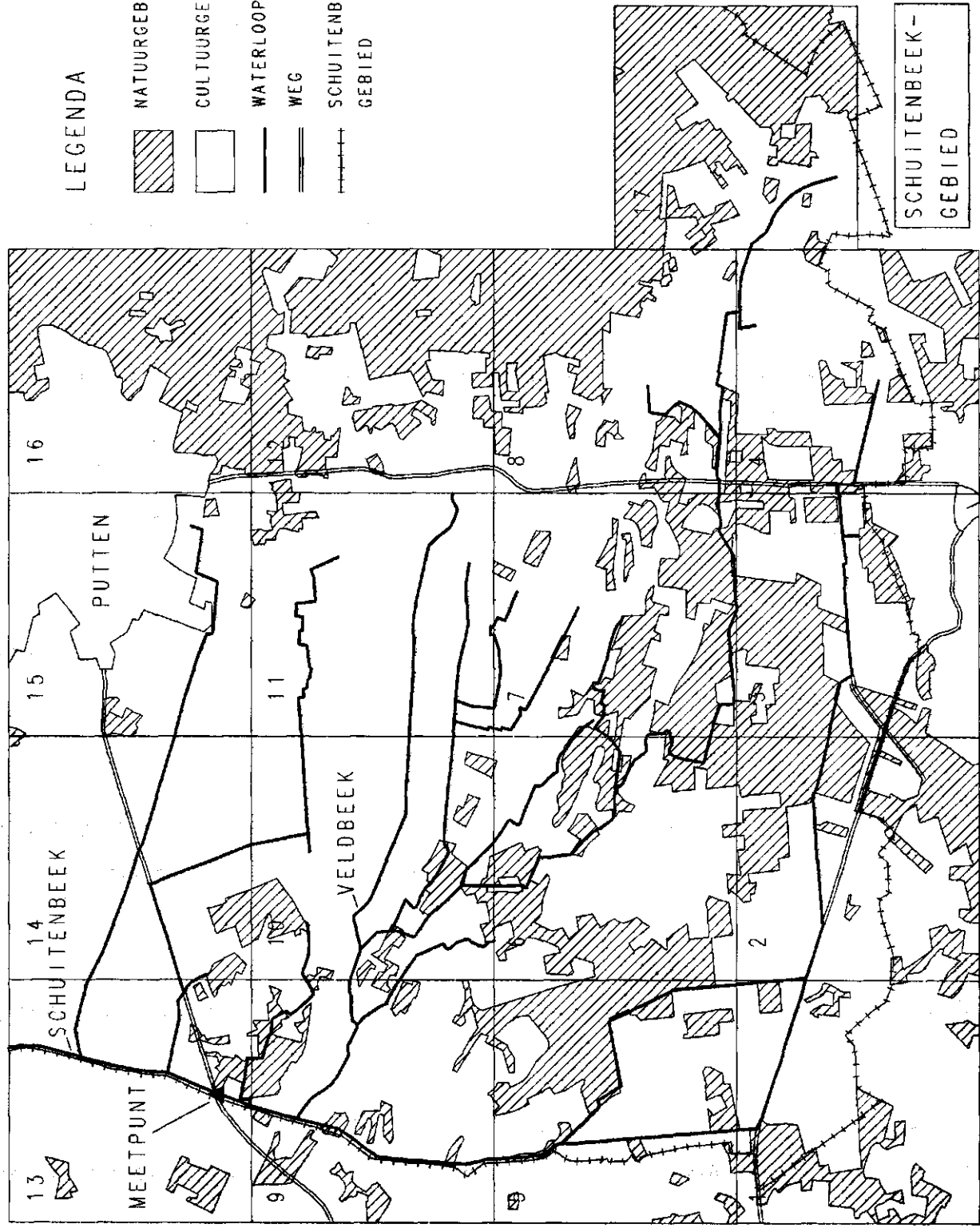


Fig. 2 Cultuur- en natuurgronden in het Schuitembeekgebied.

beïnvloed, is de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek op dit punt vrijwel volledig toe te schrijven aan de landbouw en de lozing van huishoudelijk afvalwater (n.b. Het gezuiverde afvalwater van een conservenfabriek in dit gebied wordt sinds juli 1987 op de riolering geloosd). Sinds 1 januari 1988 is door het Zuiveringsschap Veluwe een meetpunt ingericht op een iets noordelijker gelegen punt, waar de Schuitenbeek de weg Nijkerk-Putten kruist (Fig. 2). Het noordelijke deel van het gebied (cel 13-16, plus een deel van 11 en 12, ongeveer 1600 ha) wordt wel beïnvloed door de overstorten van het gemengde rioolstelsel van Putten.

In het onderzoeksgebied komen overwegend landbouwgronden (70,8%) voor. Figuur 2 toont de situatie zoals die op de topografische kaart, 1 : 50 000, daterend uit 1981, werd aangetroffen. Dit betreft voor het overgrote deel (ca. 80%) grasland zoals ook uit de aselechte steekproef voor de bodembemonstering blijkt (par. 2.2).

## 2.2 Bodemkartering en -bemonstering

De boorgegevens nodig voor het vervaardigen van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, zijn verzameld op plaatsen die door de karterder in het veld zijn bepaald. Een dergelijke kartering wordt een vrije kartering genoemd. Het aantal boringen per km<sup>2</sup> bedroeg ca. 40, dit is meer dan gebruikelijk bij de karteringen 1 : 50 000. Bij de interpolatie van deze puntgegevens naar vlakgegevens is gebruik gemaakt van landschappelijke gegevens bijv. over de vegetatie en geomorfologische gesteldheid. De kaartvlakken zijn in het veld begrensd en evenals andere geografische informatie verwerkt met het ARC-INFO-systeem.

De bodemkartering werd gevolgd door een bemonstering van 334 punten op basis van een aselechte gestratificeerde steekproef. Het steekproefkader omvat alle profielen in cultuur- en na-



tuurgronden met uitzondering van de profielen in bebouwde gebieden en op erven en wegen. Voor de stratificering werd het gebied onderverdeeld in 17 cellen van 2 bij 2 km en werden de kaarteenheden van de bodemkaart, 1 : 50 000, tot groepen samengevoegd op basis van profielopbouw, grondwatertrap en fosfaatbindend vermogen (geschat met gegevens uit andere gebieden). De bij de verwerking en presentatie gebruikte groepen zijn in aanhangsel 1 en 2 opgenomen. Als strata voor de bemonstering dienden groepen van kaarteenheden binnen een cel. Voor de verdeling van de steekproefpunten binnen een cel werden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 1 De dichtheid van het puntennet moet in elke cel ongeveer gelijk zijn aan 1 punt per 20 ha niet-bebouwd gebied. Dit levert per cel 20 punten op, uitgezonderd cel 1 en cel 11 (21), cel 13 (22), cel 15 (18) en cel 16 (12).
- 2 In elk stratum moeten minstens 2 steekproefpunten liggen, de overige steekproefpunten worden evenredig over het oppervlak verdeeld.
- 3 Het aantal steekproefpunten per stratum is ongeveer evenredig met het oppervlak.

Dit laatste punt heeft tot gevolg dat de dichtheid van het puntennet in de strata vrij sterk varieert. Daar staat tegenover dat door de celindeling de steekproefpunten vrij homogeen over het studiegebied verdeeld zijn (Aanhangsel 3). Wat de groepen van kaarteenheden betreft, zijn de kleinere eenheden enigszins oververtegenwoordigd en de grotere eenheden ondervertegenwoordigd (Aanhangsel 1). De steekproefpunten zijn verder evenredig verdeeld over cultuur- en natuurgronden, zoals blijkt uit een vergelijking met de (totale) oppervlaktepercentages op de topografische kaart (Tabel 1).

De bemonstering van de steekproefpunten vond plaats met een steekboor, tot een diepte van 1 meter beneden maaiveld. Het materiaal is per horizont verzameld, hierbij zijn horizonten die dikker waren dan 20 cm, opgesplitst in lagen van maximaal 20 cm. Er zijn in totaal 1947 monsters verzameld voor de bepaling van de dichtheid en het fosfaat-, aluminium- en ijzerge-

halte (gemiddeld 6 monsters per steekproefpunt). Het bodemprofiel bij deze punten werd beschreven tot 1,00 of 1,20 m - mv., en per horizont werden humusgehalte, leemgehalte (soms lutumgehalte) en grofheid van het zand (M50) geschat. Het profiel als geheel is geclassificeerd met behulp van het Systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1966). Tevens is op de punten de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) geschat op basis van profielkenmerken en daarna gecorrigeerd met behulp van grondwaterstandsmetingen in het gebied.

Tabel 1 Aantal en verdeling van de steekproefpunten naar bodemgebruik.

Bodemgebruik	Aantal	Procentuele verdeling	
		cultuur/natuur	totaal
<b>Cultuurland (70,8%)<sup>1)</sup></b>			
- gras	180	80,4	55,1
- maïs	31	13,5	9,3
- overig	18	6,1	4,2
<b>Totaal</b>	<b>229</b>	<b>100,0</b>	<b>68,6</b>
<b>Natuurgebied (29,2%)<sup>1)</sup></b>			
- bos	60	57,2	17,9
- heide	14	13,3	4,2
- overig	31	29,5	9,3
<b>Totaal</b>	<b>105</b>	<b>100,0</b>	<b>31,4</b>

1) Totale oppervlaktepercentage volgens de topografische kaart

### 2.3 Verwerking van de steekproefgegevens

Met behulp van de steekproef zijn de gemiddelde waarden, de relatieve standaardafwijking van het gemiddelde (variatiecoëfficiënt) of het 90%-betrouwbaarheidsinterval geschat voor de volgende bodemgegevens:

- 1 fosfaatbindend vermogen (FBV), fosfaatgehalte van de laag 0-50 cm - mv. ( $P_{act}$ ) en de fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Dit zijn continue variabelen.
- 2 fosfaatverzadigde oppervlakte (FVO). Dit is een discontinue variabele, omdat de oppervlakte wordt berekend met behulp

van de punten waarvoor de fosfaatverzadigingsgraad groter of gelijk aan een bepaalde waarde is.

De genoemde gegevens zijn bepaald voor de volgende deelpopulaties:

- 1 cellen van 2 km x 2 km;
- 2 groepen van kaarteenheden (Aanhangsel 1);
- 3 groepen van grondwatertrappen (Gt-eenheden, Aanhangsel 2);
- 4 bodemgebruikseenheden:
  - cultuurland en natuurgebieden;
  - binnen de cultuurgronden: gras, maïs en overig bodemgebruik.

Voor de schatting van de gemiddelden van cellen en groepen zijn de gemiddelde waarden van de strata gewogen met hun relatieve oppervlakte binnen de cel of het totale gebied (Aanhangsel 4).

Voor de uitsplitsing naar bodemgebruik is gewogen met de relatieve oppervlakte cultuur- of natuurgebied afgeleid van de topografische kaart en binnen de cultuurgronden met het relatieve aantal steekproefpunten per gewas (gras, maïs, overige gewassen).

#### 2.4 Grondwaterbemonstering

Tijdens de bodemkartering zijn naast bodemmonsters ook grondwatermonsters genomen. Deze bemonstering vond plaats bij de gerichte opname ten behoeve van de schatting van de GHG en de GLG in resp. januari-april 1988 en augustus-september 1988. In beide perioden werd bij ongeveer 70 punten verspreid over het hele gebied, een monster genomen. In de winterperiode bevond de grondwaterstand zich tijdens de bemonstering meestal 10-30 cm boven het GHG-niveau (Te Riele, mond. med.). Het grondwater werd bemonsterd tot op een diepte van 10-15 cm onder de grond-

waterspiegel.

In het laboratorium werd het monster gefiltreerd over een rondfilter (Schleicher & Schuel, 589/3 blauband) om eventueel aanwezige vaste bestanddelen te verwijderen.

Het bodemgebruik was bij de meeste punten grasland. De verdeling van de punten over de verschillende grondwatertrappen (Gt) is voor grasland min of meer representatief voor de cultuurgronden in het gebied (Tabel 2). Alleen Gt II en VIII zijn respectievelijk over- en ondervertegenwoordigd.

Tabel 2 Procentuele verdeling van grondwatertrappen in het gebied en grondwatermonsters onder grasland

grondwatertrap <sup>1)</sup>	Verdeling over het gebied <sup>2)</sup>		Grondwatermonsters onder grasland <sup>3)</sup>	
	cultuurgrond	natuurgrond	winter	zomer
II	0,3	0,2	7,5	9,5
IIIa, IIIb <sup>4)</sup>	19,6	6,2	13,4	20,6
IV			6,0	11,1
Va, Vb <sup>5)</sup>	22,5	14,4	29,9	28,6
V/VI	6,8	7,8		
VI	22,4	11,3	31,3	22,3
VII	9,5	4,8	10,4	7,9
VIII	10,6	40,0	1,5	n.b.
associaties <sup>5)</sup>	8,3	15,3		

1) Steur en Heijink, 1983 (zie ook Aanhangsel 2)

2) vlakgegevens afgeleid van de bodemkaart

3) puntgegevens; winterperiode: 67 monsters; zomerperiode: 63 monsters

4) komt alleen bij punten voor

5) komt alleen bij vlakken voor

## 2.5 Laboratoriumanalyses

De *grondmonsters* werden aan de lucht gedroogd in het laboratorium en gewogen voor de bepaling van de dichtheid. Vervolgens werd gezeefd met een 2 mm draadzeef om grove delen als grind en wortelresten te verwijderen. Een deel van het gehomogeniseerde monster werd geëxtraheerd met een zure oxalaatoplossing (Oudendag et al., 1984).

De fosfaat-, ijzer- en aluminiumconcentraties in het extract zijn bepaald via atomaire emissiespectrofotometrie (ICP/AES) (Jansen en Koning, 1986).

De dichtheid van de bodemhorizonten werd bepaald door het gewicht van het bodemmateriaal te delen door het volume. Voor de bepaling van het volume en de nauwkeurigheid van de methode werd een ijking uitgevoerd met behulp van de gangbare methode voor de bepaling van de dichtheid met behulp van ringmonsters. Hiervoor zijn 6 profielen geselecteerd die de meest voorkomende bodemeenheden en horizonten in het onderzoeksgebied vertegenwoordigen (Aanhangsel 5). Van deze horizonten werd een monster met de steekboor genomen en in de directe nabijheid twee ringmonsters met een inhoud van  $300 \text{ cm}^3$ . In aanhangsel 5 is de dichtheid van de ringmonsters berekend als functie van het gewicht per cm bemonsterde laag uit de steekboor. Via deze relatie werd ook de dichtheid van de andere monsters berekend.

De grondwatermonsters werden direkt na monsternamen in het laboratorium gefiltreerd over een rondfilter (Schleicher & Schuel, 589/3 blauband). Daarna werden de gehalten aan orthofosfaat (voor de monsters die in de zomerperiode zijn genomen) en totaal-fosfaat (voor alle monsters) bepaald. Het gehalte aan ortho-fosfaat is bepaald met de spectrofotometer volgens NEN-voorschrift 6479 (NEN, 1981). De bepaling van totaal-fosfaat is zowel uitgevoerd met ICP/AES als met de spectrofotometer (NEN-voorschrift 6479). In het laatste geval worden de monsters vooraf gedestruëerd, waardoor de organische fosfaatverbindingen worden omgezet in ortho-fosfaat.

### 3 BODENGESTELDHEID

#### 3.1 Bodemkaart

Kaart 1 geeft de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, van het gebied en Tabel 3 de bodemeenheden en grondwatertrappen waaruit de in Aanhangsel 1 genoemde groepen van kaarteenheden zijn samengesteld. Voor een verklaring van de bodemkundige termen wordt verwezen naar Aanhangsel 6.

Het gekarteerde gebied bestaat vrijwel geheel uit zandgronden. Het zand is leemarm tot zeer sterk lemig en fijnzandig. In de hoge gebieden zijn door de neergaande waterbeweging van nature podzolgronden gevormd (moder- en haarpodzolgronden). Ten oosten van Putten komt grof zand in de ondergrond voor (toev. ...g). Langs de rand van het Veluwemassief (tussen Putten en Voorthuizen) zijn door het opbrengen van mest uit de potstal oude bouwlandgronden met een cultuurdek ontstaan (enkeerdgronden, en loo- en laarpodzolgronden). In de lager gelegen infiltratie gebieden komen zeer veel veldpodzolgronden voor en in de beekdalen beekerdgronden en verwante beekvaaggronden. Plaatselijk komt een beekleemlaag voor in de bovengrond (toev. k...), en in de zuidwesthoek een dunne lössachtige laag in de ondergrond (geen toev.). Veer komt zeer plaatselijk voor (toev. ...v) in de ondergrond van beekerdgronden of in de associatie ABv. Op de dekzandruggen tussen de beekdalen liggen ook enkeleerdgronden. In het noordwesten ligt een kleine oppervlakte met een zeekleidek (zavel) op pleistoceen zand (toev. ...p).

In het zuiden komt in de natuurgebieden (Appelsche heide, Kruishaarsche heide) en ook onder landbouwgronden een associatie van stuifzandgronden voor.

Tabel 3 Oppervlakten van bodemeenheden (zonder toevoegingen) en grondwatertrappen.

Bodemeenheid (schaal 1 : 50 000) naam	Grondwatertrap (cultuur- en natuurgronden) code	Asso-										Bebouw-		Totaal			
		II	III	IIIb	V	Vb	VI	VII	VIII	V/VI	ciaties	ing	ha	%			
Looppodzol	cY														82	82	1,2
Moderpodzol	Y														518	518	7,6
Haarpodzol	Hd								52	344						396	5,8
Zwarte enkeerd	zEZ							114	322	283	4	41				764	11,2
Bruine enkeerd	bEZ					7	188	81		7			20			303	4,5
Laarpodzol	cHn			9		26	133	11				69	5			253	3,7
Veldpodzol	Hn		39		879	296	772	56				353	107			2502	36,8
Dampodzol	zWp		3												3	0,0	
Gooreerd	pZn							6							6	0,1	
Beekeerd	pZg		438	27		31	28						8		532	7,8	
Beekvaag	Zg		361	35											396	5,8	
Vlakvaag	Zn				34										34	0,5	
Venige beekdalgr. <sup>1)</sup>	ABv	9		13											22	0,3	
Poldervaag	Mn	9	70	27												106	1,6
Stuifzand associatie	AS				33			2	9			385				429	6,3
Overig	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-	54	54				131	1,9
Bebouwing	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	323			323	4,8
Totaal (ha)		18	911	134	946	360	1241	524	1243	480	620	323				6800	
Totaal (%)		0,3	13,4	2,0	13,9	5,3	18,2	7,7	18,2	7,1	9,1	4,8					100

1) kleigrond, de overige vaaggronden zijn zandgronden

De oostzijde van het gekarteerde gebied ondervindt invloed van kwel uit de stuwwal. In het voorjaar zijn de hier gelegen gronden langer nat dan de gronden met gelijke grondwatertrap in het westelijk deel van het gebied. In het najaar staat in de westelijk gelegen gronden het grondwater bij gelijke grondwatertrap juist hoger dan in het oostelijk deel.

### 3.2 Beschrijving van de bodemeenheden

#### 3.2.1 Podzolgronden

De podzolgronden zijn van nature arme zandgronden. De moder-

podzolgronden vormen een relatief rijkere variant. De podzolgronden hebben een zwarte tot donkergrijze, humushoudende bovengrond (A-horizont) die ligt op een donkerbruine of roodbruine inspoelingshorizont (Bh-horizont; bij moderpodzolgronden Bws-horizont). Deze gaat meestal geleidelijk over in een bruingele of grijze C-horizont. De uitspoelingslaag (E-horizont) is veelal opgenomen in de A-horizont of via de plaggen voor de potstal verdwenen. Veel podzolgronden zijn meer dan 40 cm verwerkt (toev. ...F), waardoor de horizonten zijn vermengd.

De podzolgronden met *hydromorfe kenmerken* zijn naar dikte van de bovengrond onderverdeeld in veld- en laarpodzolgronden. De eerste groep heeft in dit gebied een dunne of verwerkte bovengrond (Hn, 2502 ha, 36,8%). De laarpodzolgronden (cHn, 253 ha, 3,7%) zijn oorspronkelijk veldpodzolgronden die een matig dikke (30-50 cm) humeuze bovengrond hebben verkregen door potstalbemesting. De veldpodzolgronden hebben veelal een leemarme of zwak lemige bovengrond (Hn21) en beslaan een oppervlakte van 2322 ha (34,2%). Ter plaatse van de "heidevelden" is plaatselijk een sterk lemig dekje (< 20 cm) aanwezig. De gronden met een zwak en/of sterk lemige bovengrond (Hn23) omvatten 180 ha (2,6%). De lemige bovengrond is minder dan 60 cm dik. De ondergrond van de veldpodzolgronden is veelal leemarm en fijnzandig. De verwerkte dampodzolgrond (zWp, 3 ha, 0,1%) is vergelijkbaar met een verwerkte veldpodzolgrond maar dan met veenbrokjes in de verwerkte laag.

De hoog ten opzichte van het grondwater ontstane podzolgronden hebben soms in de ondergrond plaatselijk een roestlaagje maar verder *geen hydromorfe kenmerken*. Deze gronden (914 ha, 13,4%) liggen hoofdzakelijk onder bos en behoren tot de haar- en holtpodzolgronden die resp. 396 ha (Hd, 5,8%) en 518 ha (Y, 7,6%) groot zijn. De indruk bestaat dat de haarpodzolgronden in dit gebied voor een deel uit gedegradeerde holtpodzolgronden bestaan. De B-horizont van de haarpodzolgronden is veelal roodbruin van kleur en min of meer verkit, terwijl de B-horizont



van de holtpodzolgronden meestal bruin van kleur en vrij los van pakking is. Loopodzolgronden zijn voormalige holtpodzolgronden met een matig dikke bovengrond (30-50 cm) (cY, 82 ha, 1,2%). De bovengrond van de haar-, holt- en loopodzolgronden is leemarm of zwak lemig. Het aanwezig zijn van grind in deze laag is aangegeven met toevoeging g... . De ondergrond is veelal leemarm.

### 3.2.2 Enkeerdgronden

De enkeerdgronden (EZ, 1067 ha, 15,7%) zijn ontstaan door menselijke activiteit. Door bemesting met potstalmest waarin enig zand aanwezig was, vond een geleidelijke ophoging plaats. Het zand werd met de heide- of grasplaggen in de stal gebracht en daarna via de mest over het bouwland verspreid. Dit uit zich in een relatief hoog fosfaatgehalte in het cultuurdek.

Deze gronden zijn onderverdeeld naar de kleur van de humushoudende bovengrond in bruine (bEZ, 303 ha, 4,5%) en zwarte enkeerdgronden (zEZ, 764 ha, 11,2%). De bruine kleur is ontstaan door het gebruik van grasplaggen uit de lemige beekdalen en in de noordwesthoek vermoedelijk van "zeekleiplaggen". De zwarte bovengronden zijn ontstaan door het gebruik van heideplaggen (podzolgronden) in de potstal (Pape, 1972). De bruine en zwarte enkeerdgronden zijn veelal resp. sterk lemig en zwak of sterk lemig.

### 3.2.3 Beekdalgronden

De beekdalgronden zijn omschreven naar hun landschappelijke ligging en onderverdeeld in beekerd-, beekvaag- en venige beekdalgronden. Deze gronden hebben een grote variatie in profielopbouw en textuur op korte afstand.

De beekerdgronden (pZg, 531 ha, 7,8%) zijn eerdgronden met een humeuze bovengrond (eerdlaag) en roestverschijnselen. Ze zijn voor de helft ijzerrijk (toev. f...). De bovengrond is zwak tot zeer sterk lemig. Plaatselijk is de bovengrond lutumrijk of komt deze lutumrijke laag onder de lemige bovengrond voor (toev. ...k). De lutumrijke laag betreft beekleem en in de noordwesthoek zeelei. De ondergrond verandert vrij snel in zwak lemig of leemarm fijn zand en deze bevat dikwijls grindjes. In de ondergrond is plaatselijk grof zand (toev. ...g) of veen (toev. ...v) aanwezig. Deze componenten komen voor een deel zeer verspreid ook in de vlakken zonder toevoeging voor.

De beekvaaggronden (Zg, 396 ha, 5,8%) staan niet vermeld in het Systeem van bodemclassificatie. Ze komen overeen met beekerdgronden waarvan de bovengrond (A-horizont) met een deel van de ondergrond (C-horizont) is verwerkt of waarop een zanddek is aangebracht. De duidelijke minerale eerdlaag ontbreekt dan. De overgangsvorm tussen de beekerd- en de podzolgronden, de gooreerdgronden, komen vrijwel niet voor (pZn, 6 ha, 0,1%).

De venige beekdalgronden (ABv, 22 ha, 0,3%) bestaan uit beekerdgronden en gronden met een veenlaag (< en > 40 cm) op een roestige ondergrond. De laatste zijn gedeeltelijk opgehoogd met van elders aangevoerd zand.

#### 3.2.4 Overige vaaggronden

In dit gebied komen naast de beekvaaggronden nog andere vaaggronden voor (AS, Zn, Mn, 580 ha, 8,6%). In deze gronden heeft weinig of geen bodemvorming plaatsgevonden, waardoor de eventueel aanwezige A-, E- of B-horizonten vaag zijn. In het stuifzandgebied is veelal een dunne, maar goed ontwikkelde micropodzol aanwezig. Indien deze gronden in agrarisch gebruik zijn, kan de bovengrond tot ca. 3% org. stof bevatten. Deze gronden zijn meestal leemarm en matig fijnzandig. We vinden ze in het

stuifzandgebied als vlakvaaggronden (Zn) in uitgestoven laagten, en als vlak- of duinvaaggronden (Zn, Zd) op de opgestoven plekken. Plaatselijk komt onder het stuifzanddek een veen- of gliedelaag voor. Bij de Veldhoefweg is een dun stuifzanddek op een podzolprofiel (zHn) aanwezig. Het geheel van deze gronden is als samengestelde bodemeenheid geïnventariseerd (AS, 440 ha, 6,5% en Zn 34 ha, 0,5%). In de noordwesthoek is een bodemeenheid met zeeklei (zavel of klei) op zand aanwezig (Mn...p, 106 ha, 1,5%).

### 3.2.5 Overige samengestelde bodemeenheden

De overige samengestelde bodemeenheden (131 ha, 1,9%) zijn om kaarttechnische redenen niet als enkelvoudige eenheden te onderscheiden. Ze zijn samengesteld uit de reeds beschreven enkelvoudige bodemeenheden.

### 3.2.6 Bebouwing

De bebouwde kom van Putten en Voorthuizen is niet gekarteerd en omvat binnen het gekarteerde gebied 323 ha (4,8%).

## 3.3 Beschrijving van de grondwatertrap-eenheden

Ten behoeve van de presentatie van de gegevens in kaarten en tabellen zijn de grondwatertrappen ingedeeld in een aantal groepen ("Gt-eenheden"). Omdat de fosfaatuitspoeling sterk afhankelijk is van hoge grondwaterstanden in het winterseizoen fungeerde de GHG als differentiërend criterium (Aanhangsel 2 en Tabel 4).

Allereerst werd een onderscheid gemaakt tussen relatief "natte" gronden met een GHG ondieper dan 40 cm min maaiveld (Gt II, III en V) en "droge" gronden met een GHG die meestal dieper is dan 80 cm (Gt VII) of 140 cm beneden maaiveld (Gt VIII). In de laatste groep komen ook associaties met Gt VI voor. Gronden met een GHG tussen 40 en 80 cm - mv. (Gt IV en VI) zijn ingedeeld bij de "matig natte" gronden. Deze groep omvat ook de associaties met Gt III en V. Tenslotte zijn nog "nat/droge" gronden onderscheiden, waarin uitsluitend associaties van Gt V met VII en/of VIII voorkomen. In dit geval varieert de GHG het sterkst. Deze gronden bestaan voor het grootste deel uit stuifzandgronden. De uitgestoven laagten vormen het natte deel (Gt V) en de opgestoven gronden het drogere deel (Gt VII of VIII).

Kaart 2 geeft het voorkomen van de omschreven Gt-eenheden weer en Tabel 4 de oppervlakten. De kaart weerspiegelt de opbouw van het gebied, beschreven in 2.1 en 3.1. De relatief droge gronden met een GHG meestal dieper dan 80 cm - mv. komen voor op de rand van de Veluwe in het oosten en op de dekzandruggen in het lager gelegen gebied. De "nat/droge" gronden met een

Tabel 4 Oppervlakte en aantal steekproefpunten van de grondwater-trap-eenheden.

Grondwater-trap-eenheid	Voorkomende grondwater-trappen	Cultuur		Natuur	
		opp. aantal (ha) steekproefpunten		opp. aantal (ha) steekproefpunten	
Nat	II, III, IIIb V, Vb, III/V	2008	95	404	24
Matig nat	VI, III/IV III/VI, V/VI	1374	71	362	16
Nat/droog	V/VI/VII, V/VI/VIII, V/VII, V/VII/VIII, V/VIII	191	8	232	13
Droog	VI/VII, VII, VIII, VI/VIII	1015	55	892	52
		4588	229	1890	105

GHG meestal dieper dan 40 cm - mv. liggen vooral in het zuiden. De rest van het gebied (64,0%) bestaat uit "natte" en "matig natte" gronden. Voor het onderzoek is vooral van belang dat ongeveer 75% van de cultuurgronden in deze categorie valt.

## 4 FOSFAATVERZADIGINGSTOESTAND VAN DE BODEM

Om een uitspraak te kunnen doen over de fosfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater is het van belang na te gaan in hoeverre de bodem met fosfaat verzadigd is. De mate van verzadiging is enerzijds afhankelijk van het fosfaatbindend vermogen (FBV) dat aangeeft hoeveel fosfaat in de grond gebonden kan worden, en anderzijds van het actuele fosfaatgehalte ( $P_{act}$ ) dat ten tijde van de monsternamen in de grond aanwezig is.

De berekening van het fosfaatbindend vermogen en het actuele fosfaatgehalte wordt beschreven in paragraaf 4.1 en 4.2. In paragraaf 4.3 wordt de fosfaatverzadigingsgraad behandeld.

## 4.1 Fosfaatbindend vermogen

Het fosfaatbindend vermogen (FBV) is afhankelijk van de som van de gehalten oxalaat-extraheerbaar aluminium en ijzer. In dit verband is gebruik gemaakt van de meest recente gegevens van Schoumans et al. (1986), waarbij gebruik is gemaakt van de aangepaste Freundlich vergelijking:

$$FBV = 4,6 + 0,39 * (Al_{ox} + Fe_{ox}) \text{ (mmol per kg grond)} \quad (1)$$

Berekening in kg  $P_2O_5$  per ha levert:

$$FBV = \{4,6 + 0,39 * (Al_{ox} + Fe_{ox})\} * LD * D * 7,1 \quad (2)$$

met: FBV = totaal (areïek)<sup>1)</sup> fosfaatbindend vermogen van de laag in kg  $P_2O_5$  per ha.

$Al_{ox}$  = oxalaat-extraheerbaar Al-gehalte in mmol per kg grond.

$Fe_{ox}$  = oxalaat-extraheerbaar Fe-gehalte in mmol per kg grond.

LD = dikte van de laag in cm,

D = dichtheid van de grond in kg per  $dm^3$ ,

7,1 = omrekeningsfactor van mmol P/kg grond naar kg  $P_2O_5$  per ha.

1) areïek = per oppervlakte-eenheid (Schurer en Rigg, 1980).

Het fosfaatbindend vermogen is berekend over een diepte tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand via sommatie over de bemonsterde lagen tot de GHG.

De resultaten zijn weergegeven in kaart 3 en Tabel 5. Kaart 3 geeft het gemiddeld fosfaatbindend vermogen per groep van kaart-eenheden. Het kaartbeeld vertoont sterke overeenkomst met de kaart van de Gt-eenheden (kaart 2). Daaruit blijkt reeds dat het fosfaatbindend vermogen sterk afhankelijk is van de GHG. Tabel 5 laat dit ook duidelijk zien.

Zoals verwacht is het fosfaatbindend vermogen van de *droge* gronden gemiddeld hoog (30-60 ton  $P_2O_5$  per ha) tot zeer hoog (> 100 ton  $P_2O_5$  per ha) door de relatief diepe grondwaterstand (Gt VII en VIII). Bij de *natte* zandgronden (meestal Gt III en V) varieert het gemiddelde fosfaatbindend vermogen van ongeveer 9-14 ton  $P_2O_5$  per ha. De hoogste waarde (15,6 ton  $P_2O_5$  per ha) komt voor bij de (plaatselijk) ijzerrijke bekeerddgronden (fpZg, niet op de kaart weergegeven). Bij de *matig natte* podzolgronden (meest veld- en laarpodzolgronden) ligt het fosfaatbindend vermogen tussen 10 en 15 ton  $P_2O_5$  per ha. In dit geval is de grondwatertrap meestal V/VI. Bij de matig natte enkeerdgronden liggen de waarden duidelijk hoger (22-29 ton  $P_2O_5$  per ha) dan bij de matig natte podzolgronden als gevolg van een wat diepere grondwaterstand (Gt VI). De *nat/droge* gronden met een sterk wisselende Gt hebben *gemiddeld* in verhouding tot de grondwaterstand een vrij laag fosfaatbindend vermogen van ongeveer 12 ton  $P_2O_5$  per ha.

Tabel 5 De GHG, het fosfaatbindend vermogen (FBV) tot de GHG, en het actuele fosfaatgehalte ( $P_{act}$ ) van cultuurland (0-50 cm - mv.), voor de belangrijkste groepen van kaarteenheden.

Groep van kaarteenheden	3)	Aantal punten	Oppervlakte	GHG (cm - mv.)		FBV (ton $P_{2O_5}$ /ha)		$P_{act}$	
				gem. 1)	vc 2)	gem. 1)	vc 2)	gem. 1)	vc 2)
ABv	nat II, III, IV	4	19	20	25	9,3	14	14,4	13
cHn	nat	5	35	38	21	13,6	18	11,4	36
Hn	nat	31	991	33	9	11,6	12	6,0	14
fpZg	nat	16	241	31	13	15,6	12	7,2	13
(kp)Zg	nat	34	563	24	8	13,1	16	9,6	26
bEZ	matig nat	11	200	49	10	21,6	11	10,0	9
cHn	matig nat	18	196	41	12	15,1	12	8,8	11
Hn	matig nat	27	837	41	10	16,0	12	8,0	16
zEZ	matig nat	10	106	66	12	28,5	25	8,1	20
AS	nat/droog	6	167	54	30	11,8	18	6,3	13
bEZ	droog	7	93	87	7	43,1	5	11,7	22
Hn	droog	5	103	98	8	33,9	5	8,1	9
(c)Y	droog	10	168	389	5	122,4	21	12,4	19
(g)Hd	droog	8	72	320	7	39,9	22	7,5	14
zEZ	droog	21	561	131	11	57,7	19	13,2	16

1) gemiddelde waarde per groep van kaarteenheden

2) variatiecoëfficiënt =  $\frac{\text{standaardafwijking}}{\text{gemiddelde}} \times 100 (\%)$

3) voor verklaring zie tabel 3

#### 4.2 Fosfaatgehalte

Fosfaat wordt in de bodem hoofdzakelijk in een anorganische vorm vastgelegd. Deze vorm is, met het daaraan gebonden Al en Fe, oplosbaar in een oxalaat-extract ( $P_{ox}$ ). Het fosfaatgehalte dat op deze wijze bepaald is, is daarom van belang voor de fosfaatverzadigingsgraad (par. 4.3). Het (actuele) fosfaatgehalte per oppervlakte-eenheid,  $P_{act}$  kan analoog aan (2) worden berekend uit:

$$P_{act} = P_{ox} * LD * D * 7,1 \quad (3)$$

met:  $P_{act}$  = (areiek) fosfaatgehalte in kg  $P_{2O_5}$  per ha

$P_{ox}$  = (massiek) fosfaatgehalte in mmol P per kg grond



Het fosfaatgehalte geeft tevens, na correctie voor het achtergrondgehalte, een indruk van de overmaat fosfaat die in de loop der tijd aan de bodem is toegediend. Bij de enkeerdgronden en andere gronden met een oud cultuurdek (cHn en cY) zijn de fosfaatgehalten van het cultuurdek van oudsher reeds hoog door de ophoging met potstalmest. Bij de overige gronden is de ophoping van fosfaat meestal beperkt tot de bovenste 50 cm van de bodem. Tot deze diepte is het gehalte het hoogst bij de enkeerdgronden en de andere gronden met een cultuurdek (10-12 ton  $P_2O_5$  per ha, Tabel 5). Bij de overige cultuurgronden is het fosfaatgehalte in de laag 0-50 cm - mv. ongeveer 6-8 ton  $P_2O_5$  per ha.

De invloed van het bodemgebruik komt duidelijk tot uiting in het verschil tussen cultuurgronden en natuurgebieden, en tussen gras- en maïsland (Tabel 6).

Tabel 6 Gemiddeld fosfaatgehalte (ton  $P_2O_5$  per ha) van de laag 0-50 cm - mv. per bodemgebruiksvorm.

Bodemgebruik	Gemiddeld fosfaatgehalte	Variatiecoëfficiënt
Natuur	1,5	16
Cultuur	8,9	6
Gras	7,0 <sup>1)</sup>	n.b.
Maïs	11,3	2

1): alleen veldpodzolgronden (zie tekst)

Bij maïsland is het fosfaatgehalte het hoogst. Dit hangt vermoedelijk zowel samen met het feit dat maïs vaker op "droge" gronden met een cultuurdek voorkomt dan gras, als met de hogere belasting van maïs. Het meest opvallend is het relatief hoge fosfaatgehalte van grasland (7,0 ton  $P_2O_5$  per ha). In dit cijfer zijn alleen de veldpodzolgronden opgenomen, omdat deze van nature een laag fosfaatgehalte hebben en niet door de vroegere potstalbemesting zijn beïnvloed.

Vergelijking met het gehalte in natuurgebieden (1,5 ton  $P_2O_5$  per ha) laat zien, dat de "overmaat" fosfaat die op de bodem

is terecht gekomen, gemiddeld 5,5 ton  $P_2O_5$  per ha bedraagt (n.b. Welk deel in landbouwkundige zin overmaat is, is nog niet onderzocht). Dit is ongeveer een factor 3 hoger dan bij intensieve veehouderijbedrijven in Drenthe (Schoumans en Breeuwsma, 1989).

Naast rundveedrijfmest is in het gebied ook de nodige varkensdrijfmest aanwezig, welke vooral bij de herinzaai van grasland wordt toegediend. Bij een gewasonttrekking van 110 kg  $P_2O_5$  per ha, een rundveebezetting van 3,5 gve per ha, en een fosfaatgehalte van 4,7 kg  $P_2O_5$  per ton varkensdrijfmest komt de "overmaat" fosfaat overeen met een gemiddelde varkensdrijfmestgift van ongeveer 200 ton per 4 jaar gedurende een periode van 20 jaar. Hoewel in de praktijk ook rekening moet worden gehouden met het gebruik van overmaat kunstmest (vooral Thomasslakkenmeel) in het verleden, geven deze cijfers wel aan, dat de fosfaatbelasting door dierlijke mest in het gebied zeer hoog is geweest. Uit de spreiding in de gemiddelde belasting kan worden afgeleid, dat een aantal percelen zelfs een aanzienlijk hogere belasting heeft gehad (Fig. 3).

Uiteraard zijn er ook verschillen per gebied mogelijk. Kaart 4 geeft het gemiddelde fosfaatgehalte in cultuurgronden per cel en laat zien dat het fosfaatgehalte in cel 12 (ten zuiden van Putten) relatief hoog is, en ten noorden van Voorthuizen (cel 4 en 17) en in cel 1 relatief laag. Het gemiddelde fosfaatgehalte van het cultuurland varieert hier van resp. ongeveer 11 ton  $P_2O_5$  per ha in cel 12 tot 6 ton in cel 4 en 17. Bij de overige cellen ligt het gehalte tussen 7 en 11 ton  $P_2O_5$  per ha. De historische fosfaatbelasting is daardoor vrij gelijkmatig over het gebied verdeeld. Voor de fosfaatuitspoeling is van belang, dat ook de natte en matig natte gronden veel fosfaat blijken te bevatten (resp. 7,7 en 9,1 ton  $P_2O_5$  per ha in de laag 0-50 cm - mv., Tabel 7).

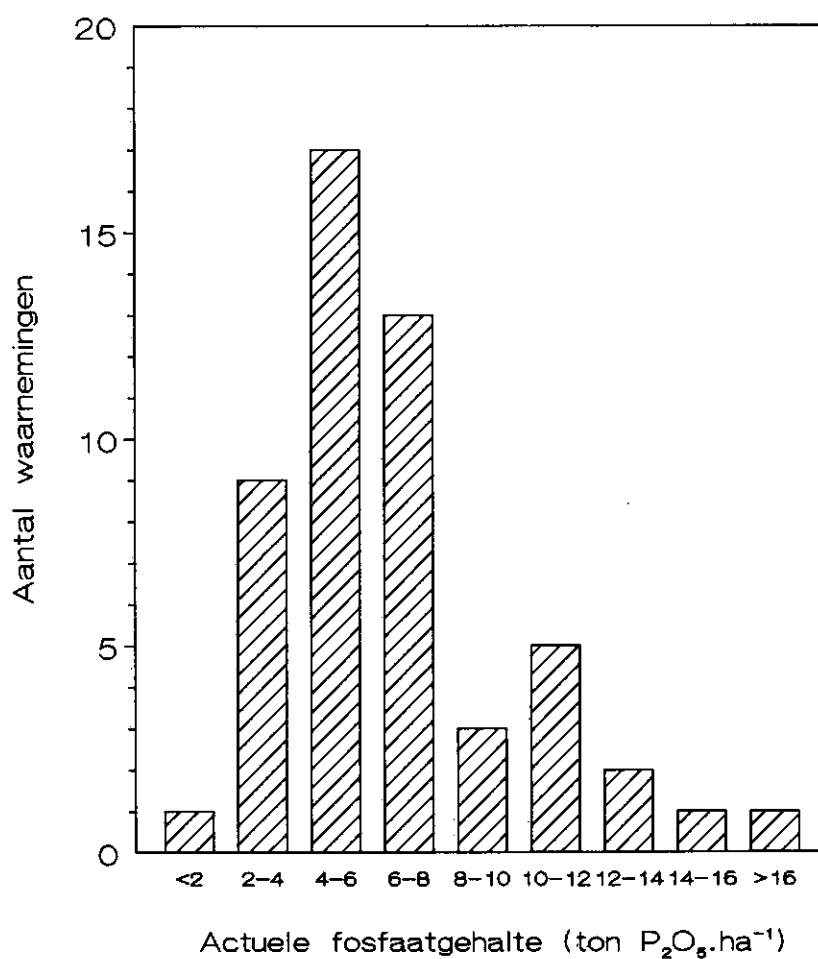


Fig. 3 Frequentieverdeling van het actuele fosfaatgehalte in de laag 0-50 cm - mv. van veldpodzolgronden onder cultuurland.

Tabel 7 Gemiddeld fosfaatgehalte (ton P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) van de laag 0-50 cm - mv. van cultuurgronden per groep van grondwatertrappen (Gt- eenheid).

Gt- eenheid	Gemiddeld fosfaat- gehalte	Variatie- coëfficiënt	Aantal punten	Oppervlak (ha)
nat	7,7	13	95	2008
matig nat	9,1	8	71	1374
nat/droog	6,8	10	8	191
droog	12,1	10	55	1014

### 4.3 Fosfaatverzadiging

#### 4.3.1 Criteria

De fosfaatverzadiging van de bodem kan in de eerste plaats worden gekarakteriseerd met de fosfaatverzadigingsgraad. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$FVG = \frac{P_{act}}{FBV} \times 100 \quad (4)$$

met: FVG = fosfaatverzadigingsgraad in procenten.

$P_{act}$  en FBV hebben betrekking op dezelfde laagdikte. Voor de berekening van de FVG is gebruik gemaakt van  $P_{act}$  berekend tot aan de GHG. Een tweede maat voor de fosfaatverzadigingstoestand van de bodem betreft het fosfaatverzadigd oppervlak, dat wil zeggen het oppervlak waarbij een bepaalde verzadigingsgraad wordt overschreden.

Op dit moment is er nog geen norm vastgesteld voor een fosfaatverzadigde grond. In het verleden zijn verschillende definities gehanteerd welke als gemeenschappelijk uitgangspunt hebben dat:

- 1 de diepte van de verzadigde laag aan de grondwaterstand wordt gekoppeld en
- 2 een veiligheidsmarge in de vorm van een bufferzone of een verzadigingsgraad kleiner dan 100% is gebruikt (Tabel 8).

Aanvankelijk werd als referentiediepte voor de fosfaatverzadigingsgraad de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) genomen en een bufferzone van 50 cm (Breeuwsma en Schoumans, 1986). De bodem mocht tot deze diepte voor 100% verzadigd zijn. Deze definitie is afgestemd op de permanente grondwaterbelasting. In later onderzoek werd de definitie afgestemd op het voorkomen van de piekbelasting die bij hoge grondwaterstanden in de winter op kan treden. In verband hiermee werd de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) als referentiediepte genomen. Verder werd in dat onderzoek aangenomen dat de fosfaatverzadigings-

graad van een perceel gemiddeld niet meer dan 70% mag bedragen om een significante verhoging van de uitspoeling naar het grondwater te voorkomen (Breeuwsma et al., 1987; Schoumans en Breeuwsma, 1989). Bij deze definitie is rekening gehouden met de invloed van de ruimtelijke variabiliteit in fosfaatbindend vermogen. Daarnaast is het ook mogelijk de definitie van een fosfaatverzadigde grond expliciet af te stemmen op de fosfaatconcentratie die op de referentiediepte aanwezig is (Van der Zee, 1988).

**Tabel 8** Gehanteerde bodemgegevens in alternatieve definities voor een fosfaatverzadigde grond

Bodemgegevens	Definitie <sup>1)</sup>		
	1	2	3
referentiediepte	50 cm boven GLG	GHG <sup>2)</sup>	GHG
fosfaatverzadigingsgraad tot referentiediepte (%)	100	70	35 (26)
ortho-P gehalte in grondwater op referentiediepte (mg ortho-P per liter)			0,15 (0,10)

1) 1: Breeuwsma en Schoumans (1986); 2: Breeuwsma en Schoumans (1988); 3: naar Van der Zee (1988)

2) afgeronde waarden van 25, 50 en 100 cm beneden maaiveld, afhankelijk van de grondwatertrap

Vooruitlopend op de waarden die nog vastgesteld moeten worden in het kader van de Regeling fosfaatverzadigde gronden, is in dit onderzoek gerekend met de GHG als referentiediepte en een fosfaatgehalte in het grondwater van 0,10 en 0,15 mg ortho-P per liter. De keuze van deze waarden berust op de veronderstelling dat het ortho-P-gehalte in het grondwater op deze diepte niet veel hoger mag liggen om overschrijding van de norm voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater (0,15 mg totaal-P per liter) te voorkomen. Ook in dit geval kan de fosfaatverzadigingsgraad als maatstaf voor de beoordeling van de verzadigingstoestand (toetsingscriterium) worden gebruikt. Met behulp van gegevens van Van der Zee (i.v.) is berekend, dat de fosfaatverzadigingsgraad tot aan de referentiediepte niet meer dan 26% resp. 35% mag bedragen (Tabel 8). De invloed van bodemtype, grondwatertrap en bodemgebruik op de fosfaatverzadigingstoestand wordt in dit rapport alleen toegelicht voor het laatstgenoemde criterium.

#### 4.3.2 Fosfaatverzadigingsgraad en fosfaatverzadigd oppervlak

Kaart 5 geeft de gemiddelde *fosfaatverzadigingsgraad* (FVG) per cel voor de cultuurgronden. Daaruit blijkt dat de FVG voor de meeste cellen 40-50% bedraagt. Ook de mediaan ligt tussen 40 en 50%. Het aantal cellen met een FVG groter dan 35% resp. 70% is 14 resp. 0. Alleen bij de cellen 1, 12 en 16 is de fosfaatverzadigingsgraad gemiddeld lager dan 35%. Dit geeft aan dat 82% van de cellen verzadigd is volgens het 35%-criterium en geen enkele cel volgens het 70%-criterium ( $FVG > 70\%$ ).

Omdat gemiddelde waarden tot een vertekend beeld kunnen leiden, is in Fig. 4 en 5 ook de relatieve en cumulatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad voor de puntwaarnemingen gegeven. Uit Fig. 5 kan worden afgeleid dat het percentage waarnemingen waarbij de fosfaatverzadigingsgraad groter is dan 26, 35, 70 of 100% respectievelijk ongeveer 80, 70, 20 en 4% is. In het laatste geval ( $FVG > 100\%$ ) is sprake van oververzadiging. Dit betekent dat naast aan aluminium en ijzer gebonden fosfaat tevens nog niet opgelost fosfaat (calcium- en magnesiumfosfaat) aanwezig is. Vergelijking met de gemiddelde waarden per cel geeft aan, dat de gemiddelden inderdaad beïnvloed zijn door de asymmetrische verdeling van de puntgegevens (Fig. 4). Bij de schatting van de fosfaatuitspoeling is daarom gebruik gemaakt van de puntwaarnemingen. Fig. 5 laat tevens zien dat bovengenoemde percentages in de toekomst verder kunnen oplopen, wanneer rekening wordt gehouden met de maximale hoeveelheid fosfaat die bij (niet-verzadigde) gronden volgens de huidige wetgeving tot het jaar 2000 nog mag worden toegediend.

Voor de verdere beschrijving van de resultaten is gebruik gemaakt van het gemiddeld *fosfaatverzadigd oppervlak*, omdat deze grootte direct inzicht geeft in het areaal waarbij een bepaalde fosfaatverzadigingsgraad wordt overschreden.

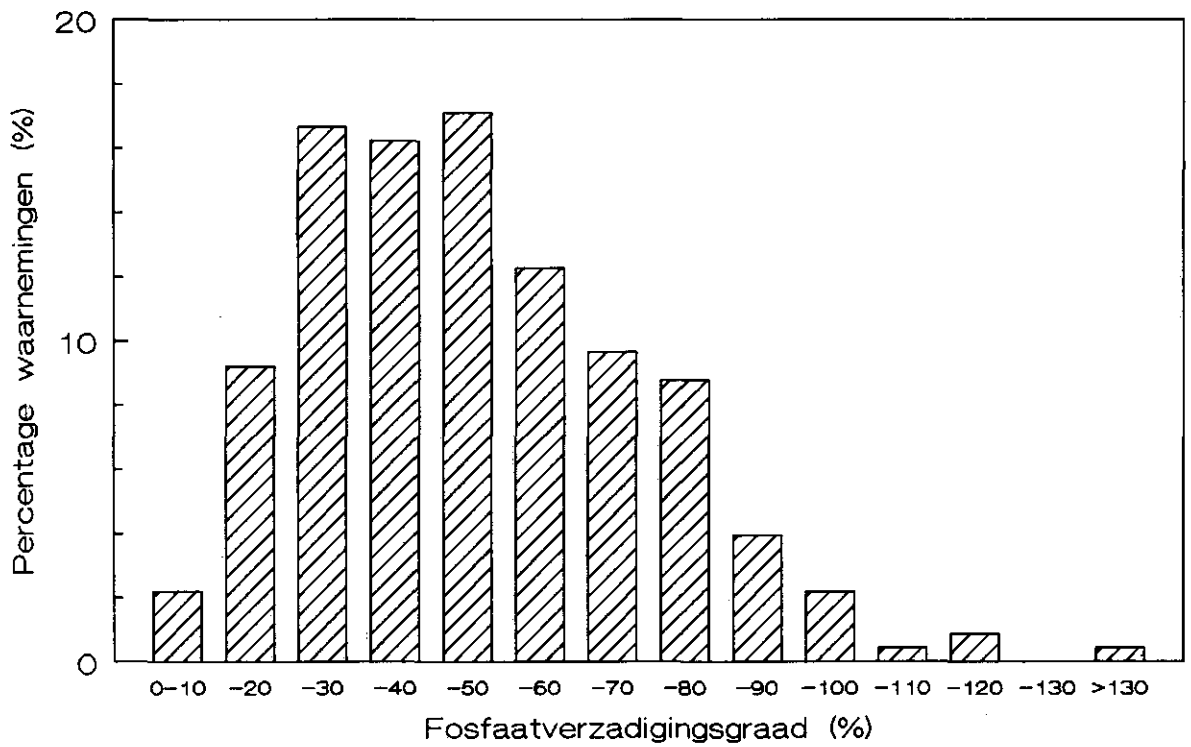


Fig. 4 Relatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de cultuurgronden.

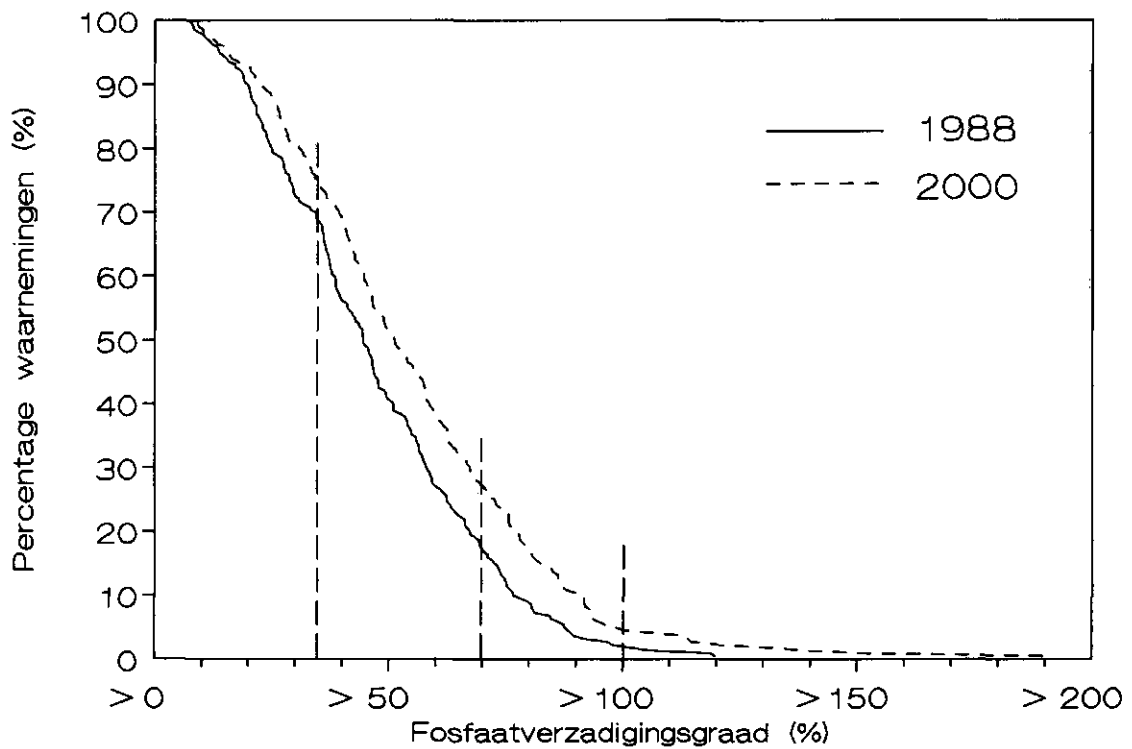


Fig. 5 Cumulatieve frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad van de cultuurgronden.

Voor het nemen van maatregelen die de eventuele fosfaatuitspoeling kunnen verminderen, is het van belang na te gaan of er een verband is tussen het fosfaatverzadigd oppervlak en het bodemtype en de grondwatertrap. Tabel 9 geeft het percentage fosfaatverzadigd oppervlak van cultuurland per groep van kaarteenheden (bodem- plus Gt-eenheid) berekend volgens het 35%-criterium. Dit percentage blijkt voor de meeste gronden hoog (60-80%) tot zeer hoog (80-100%) te zijn. Vooral de stuifzandgronden (AS, nat/droog) en de laarpodzolgronden (cHn, nat en matig nat) vallen op door hun hoge percentage fosfaatverzadigde gronden. In het eerste geval hangt dit samen met het relatief lage fosfaatbindend vermogen, in het tweede geval vermoedelijk ook met een wat hogere belasting. Het overgrote deel van het gebied wordt ingenomen door de natte en matig natte veldpodzol- en beekeerdgronden met een fosfaatverzadigd oppervlak van 60-80%. Ook de droge enkeerdgronden blijken gedeeltelijk nog in deze klasse te vallen wanneer de grondwaterstand relatief hoog is (Tabel 5). Ook bij een diepere grondwaterstand (zEZ, Tabel 5) blijken deze gronden nog voor 56% verzadigd te zijn. Het hoge fosfaatbindend vermogen wordt hier ten dele gecompenseerd door de hoge fosfaatgehalten in het cultuurdek dat door potstalbemesting is ontstaan. Ook de relatie tussen het fosfaatverzadigd oppervlak en het bodemgebruik is van belang (Tabel 10). Gemiddeld over het gehele gebied is het percentage fosfaatverzadigde gronden volgens het 35%-criterium 66% en is het 90%-betrouwbaarheidsinterval 60-70%. Het oppervlak dat gemiddeld verzadigd is, is voor grasland niet veel lager dan voor maisland (63 resp. 75%).

Zoals opgemerkt ligt het totale verzadigde oppervlak *berekend volgens het 70%-criterium* aanzienlijk lager (ca. 20%). Dit hoeft echter niet te betekenen dat de fosfaatuitspoeling daarvoor veel lager zou zijn dan het fosfaatgehalte (zie ook par. 6.3.1.2).



Tabel 9 Percentage cultuurland per groep van kaarteenheden dat gemiddeld voor meer dan 35% tot aan de GHG verzadigd is met fosfaat.

Groep van kaarteenheden		Fosfaatverzadigd oppervlak (%)	90%-betrouwbaarheidsinterval	
			ondergrens	bovengrens
ABv	nat	72	33	93
cHn	nat	100	65	100
Hn	nat	67	52	79
fpZg	nat	55	35	73
(kp)Zg	nat	66	52	78
bEZ	matig nat	68	44	86
cHn	matig nat	89	72	96
Hn	matig nat	71	55	83
zEZ	matig nat	65	40	84
AS	nat/droog	100	69	100
bEZ	droog	78	47	94
Hn	droog	16	3	53
(c)Y	droog	3	0	25
(g)Hd	droog	28	11	57
zEZ	droog	56	38	72

Tabel 10 Oppervlaktepercentage per bodemgebruiksvorm dat gemiddeld voor meer dan 35% tot aan de GHG verzadigd is met fosfaat.

Bodemgebruik	Aantal steekproefpunten	Fosfaatverzadigd oppervlak (%)	90%-Betrouwbaarheidsinterval	
			ondergrens	bovengrens
natuur + cultuur	334	44		
cultuurgronden	229	66	60	70
gras	180	63	57	69
maïs	31	75	61	86

## 5 FOSFAATBELASTING VAN HET GRONDWATER

De gehalten aan totaal-P in het ondiepe grondwater van cultuurgronden in het *winterseizoen* zijn samengevat in Fig. 6 en 7. Fig. 6 laat zien dat het grondwater tijdens de bemonstering in de meeste gevallen niet dieper dan ongeveer 60 cm beneden het maaiveld werd aangetroffen. De gehalten variëren sterk van ongeveer 0,05-10 mg P per liter. De lage gehalten komen voor in bos- en natuurterreinen (gem. 0,05 mg P per liter).

Voor grasland zijn de gegevens in histogrammen verwerkt. De gehalten aan totaal-P bleken log-normaal verdeeld te zijn (d.w.z. dat log-P normaal verdeeld is). Fig. 7 geeft aan welk percentage van de punten boven een bepaald P-gehalte ligt. Het totaal-P-gehalte van het grondwater blijkt in vrijwel alle gevallen boven de 0,06 mg P per liter te liggen. Bij ongeveer 80% van de punten was het gehalte hoger dan de basiskwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater (0,15 mg P per liter). Voor de belasting van het oppervlaktewater is van belang, dat de gehalten in het grondwater deze waarde vaak aanzienlijk overschrijden. Bij 6% van de punten is het gehalte aan totaal-P groter dan 6,0 mg P per liter. Dergelijke gehalten werden in het winterseizoen ook aangetroffen in het ondiepe grondwater van het perceel waar een gedetailleerd onderzoek is uitgevoerd (Steenvoorden et al., 1988).

Uit Fig. 7 volgt ook dat de totaal-P-gehalten boven 0,4 mg P per liter alleen bij gronden met een ondiepe grondwaterstand voorkomen. Dit zijn de "natte" gronden met Gt II, III en V en de "matig natte" gronden met Gt VI. Hierbij komt de GHG resp. ondieper dan 40 cm en tussen 40-80 cm beneden maaiveld voor. Bij Gt VII en VIII, waar de GHG beneden 80 cm - mv. ligt, zijn geen hoge gehalten waargenomen. Figuur 8 geeft de resultaten van de bemonstering in de *zomerperiode* naast die van de *winterperiode*. De gehalten in de zomerperiode liggen belangrijk

lager dan de gehalten in de winter. In de zomer heeft 82% van de gronden een gehalte lager dan 0,15 mg totaal-P per liter, in de winter is dit percentage slechts 18%. Hieruit blijkt dat het gevaar voor fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater in de winterperiode het grootst is. De natte gronden zijn het meest kwetsbaar, omdat er bij deze gronden vaak een zichtbare afwatering (greppels, sloten, e.d.) aanwezig is, waardoor het fosfaat eerder in het oppervlaktewater terecht kan komen. Bij deze gronden zijn de hoogste fosfaatgehalten in het grondwater gemeten.

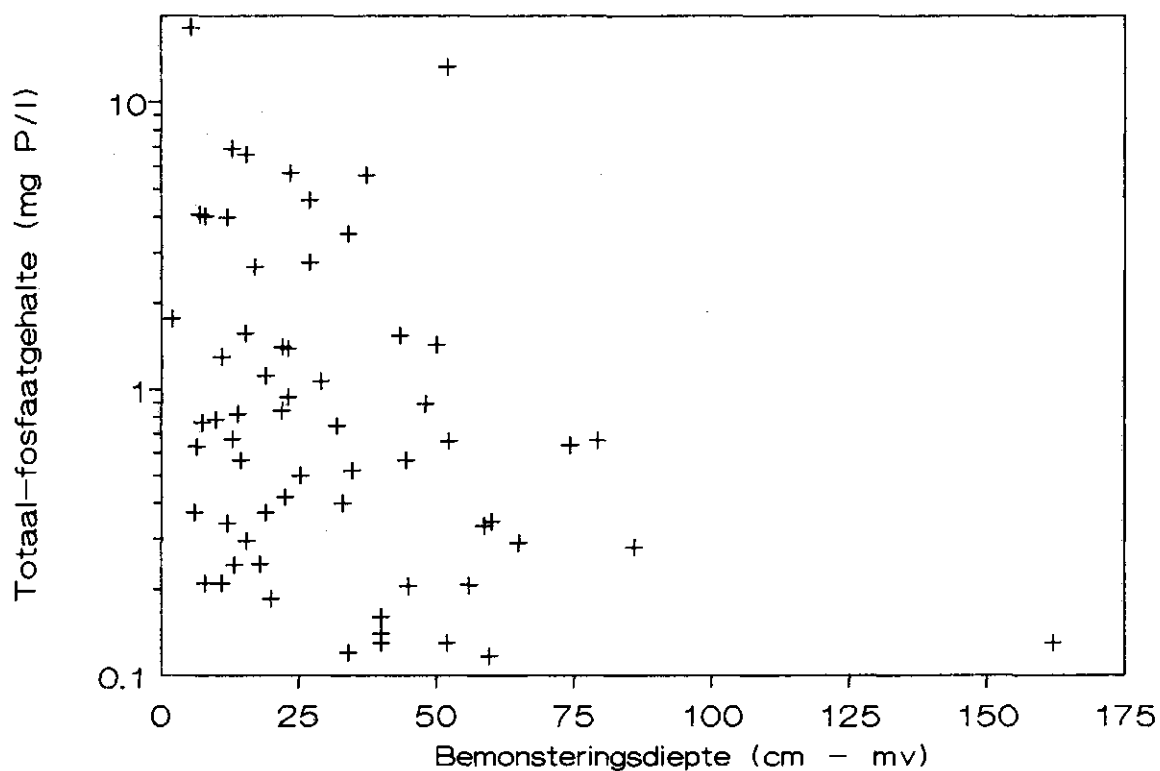


Fig. 6 Totaal-P-gehalten in het ondiepe grondwater van cultuurgronden tijdens de winter van 1987-1988 op de bemonsteringsdiepte.

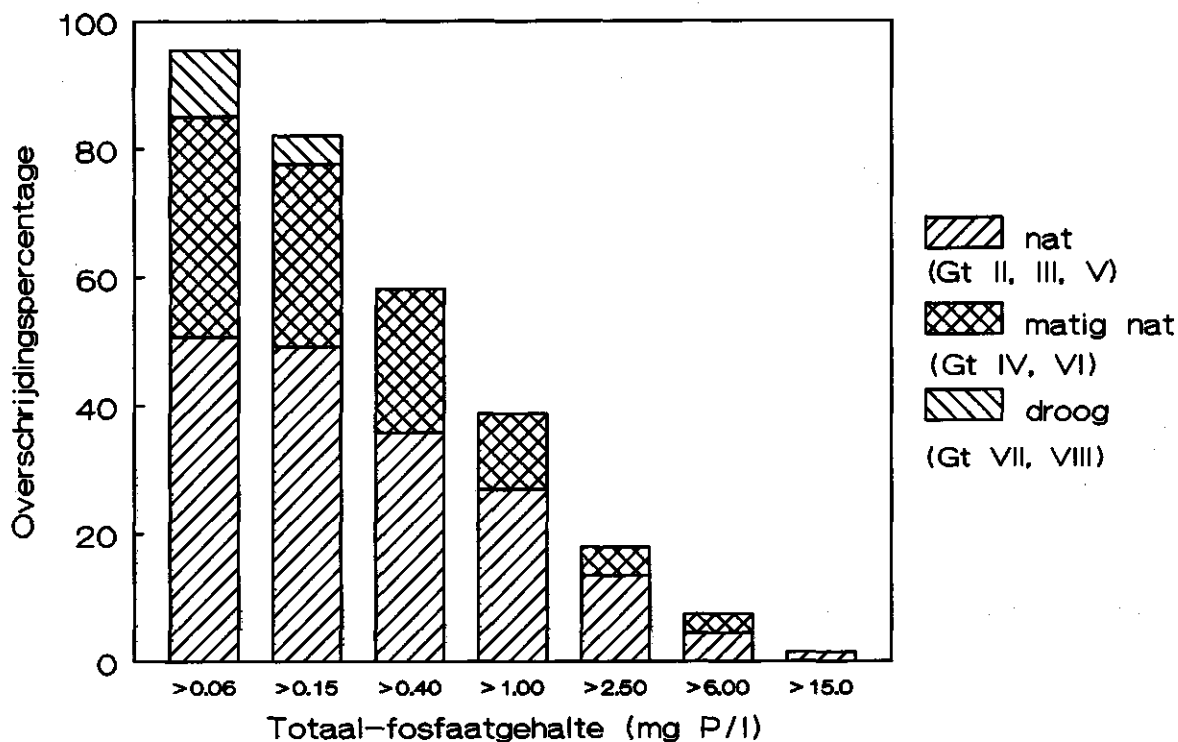


Fig. 7 Percentage monsters onder grasland dat een bepaald fosfaatgehalte van het ondiepe grondwater in de winter overschrijdt (onderverdeling naar grondwatertrap).

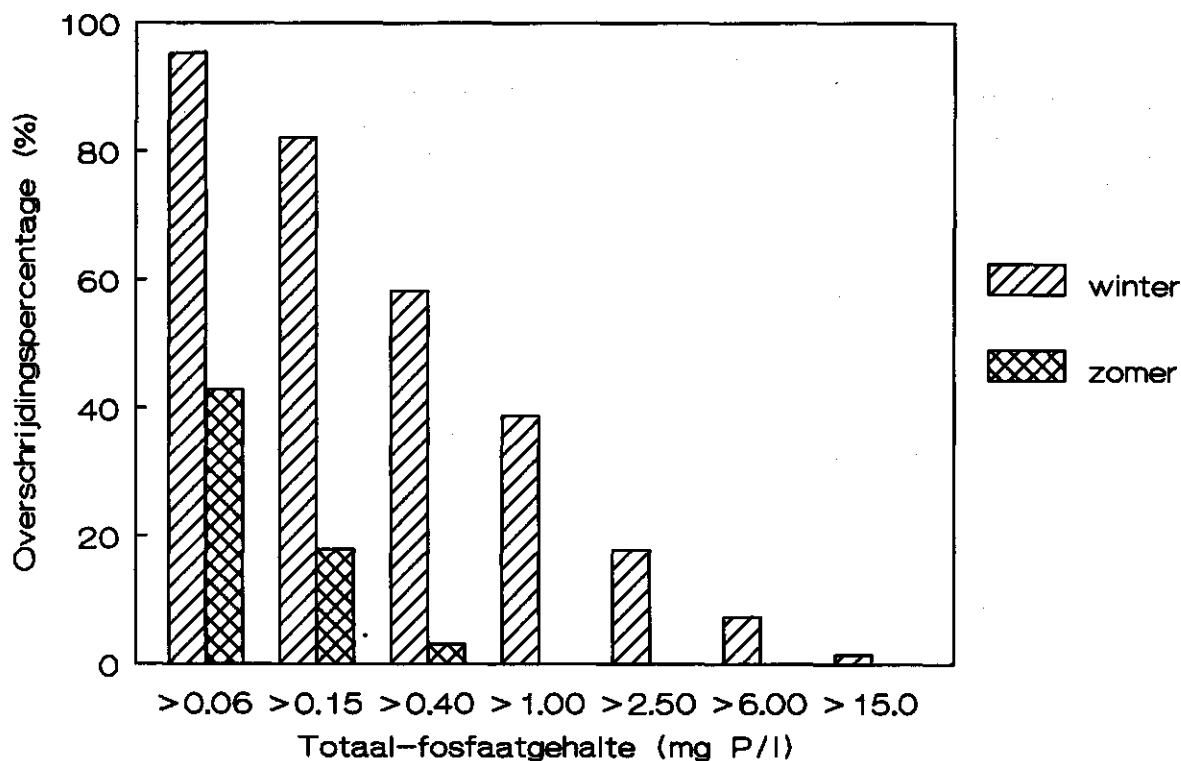


Fig. 8 Percentage monsters onder grasland dat een bepaald fosfaatgehalte van het ondiepe grondwater overschrijdt (winter- en zomerperiode).

## 6 FOSFAATUITSPOELING NAAR HET OPPERVLAKTEWATER

Teneinde inzicht te krijgen in de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater zijn twee berekeningen uitgevoerd. De eerste berekening is gebaseerd op fosfaatgehalten gemeten in het grondwater en de tweede op fosfaat-, aluminium- en ijzergehalten gemeten in de bodem. In het laatste geval worden de fosfaatgehalten in het grondwater berekend.

Aangezien de fosfaatgehalten van het grondwater in een afvoer- (winter)periode weinig fluctueren (Steenvoorden et al., 1988), is het mogelijk om de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater te schatten uit de gemiddelde laterale waterafvoer per jaar. In de volgende paragrafen zal nader ingegaan worden op de wijze waarop de waterafvoer en de fosfaatgehalten zijn geschat. Vervolgens zullen de resultaten gepresenteerd worden van beide berekeningen.

### 6.1 Schatting van de waterafvoer

Door het Waterloopkundig Laboratorium (Grashoff, niet gepubl.) is voor een situatie die in het Schuitembeekgebied veel voorkomt (een veldpodzolgrond onder grasland), berekend hoe groot de oppervlakte-afvoer (surface runoff) en grondwaterafvoer bij de verschillende grondwatertrappen gemiddeld over de periode 1971-1985 zijn geweest. Hierbij is gebruik gemaakt van één van de 21 gegeneraliseerde bodemfysische eenheden (eenheid 9) zoals deze door Wösten et al. (1988) zijn afgeleid voor de dominante bodemeenheden van de bodemkaart schaal 1 : 250 000. In Tabel 11 staan de resultaten weergegeven. De hydrologische berekeningen dienen in principe ook opgesplitst te worden naar bodemgebruik en bodemtype. Een dusdanige gedetailleerde schematisatie is echter alleen zinvol, indien voor het Schuitem-

beekgebied alle fysische en hydrologische parameters nauwkeurig vastgesteld zouden zijn.

De te berekenen totale gemiddelde waterafvoer volgens Tabel 11 ( $11,4 * 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ ) is vrij goed in overeenstemming met de gemeten waarden voor de periode 1977-1987 ( $9,7 * 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ ) volgens gegevens van DBW-RIZA (Griffioen, mond. med.).

Tabel 11 Gemiddelde oppervlakte-afvoer (surface runoff) en grondwaterafvoer per grondwatertrap <sup>1)</sup>.  
(Bron: Waterloopkundig Laboratorium) <sup>1)</sup>.

Grondwatertrap	Oppervlakte		Gemiddelde oppervlakte-afvoer (mm.j <sup>-1</sup> )	Gemiddelde grondwater-afvoer (mm.j <sup>-1</sup> )
	cultuur gronden (ha)	natuur gronden (ha)		
I	0	0	81	518
IIa, IIb	14	4	16	426
IIIa, IIIb	904	118	10	335
IV	0	0	4	339
Va, Vb	1314	442	8	247
VI	1309	384	2	160
VII, VIII	1046	943	0	67

1) De gegevens hebben betrekking op grasland

De *totale oppervlakte-afvoer* kan met behulp van Tabel 11 als volgt berekend worden:

$$OA_{\text{tot}} = \sum OPP_i * OA_i * 10 \quad (\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}) \quad (3)$$

met:

$OPP_i$  = oppervlakte grondwatertrap i (ha)

$OA_i$  = oppervlakte-afvoer grondwatertrap i (mm.j<sup>-1</sup>)

De *grondwaterafvoer* (Tabel 11) kan onderverdeeld worden in 3 drainagesystemen (Berghuys-van Dijk et al., 1985) namelijk greppels, sloten en kanalen, elk met een verschillend afvoerend pakket. Via "expert judgement" (Roest, mond. med.) is voor het onderzoeksgebied de diepte van het afvoerend pakket per drainagesysteem vastgesteld (Tabel 12).

Tabel 12 Aangenomen diepte van het afvoerend pakket per drainagesysteem.

Drainagesysteem	Diepte afvoerend pakket (cm - mv.)
greppels	0- 50
sloten	50-200
kanalen	200-600

Vervolgens is per grondwatertrap de grondwaterafvoer verdeeld over deze drie drainagesystemen (Tabel 13). Hierbij is er vanuit gegaan dat bij (zeer) droge gronden (Gt VII en VIII) geen greppels en sloten voorkomen, zodat in deze situatie de volledige grondwaterafvoer homogeen via het diepe afvoerend pakket plaatsvindt. Voor vrij diep ontwaterde gronden (Gt IV en VI) is aangenomen, dat de grondwaterafvoer gelijk over sloten en kanalen is verdeeld. Alleen bij zeer natte gronden (overige Gt) vindt een zeer snelle afvoer-component via greppels plaats.

Tabel 13 Procentuele verdeling van de grondwaterafvoer over de drie drainagesystemen.

Grondwatertrap	Grondwaterafvoer per drainagesysteem		
	greppels (%)	sloten (%)	kanalen (%)
I, II, III, V	25	50	25
IV, VI	0	50	50
VII, VIII	0	0	100

## 6.2 Schatting van de totaal-fosfaatgehalten in de afvoer

In het Schuitenbeekgebied zijn op een zestigtal plaatsen de fosfaatgehalten (totaal-P) in het grondwater een of twee keer gemeten bij hoge grondwaterstanden en een lage grondwaterstand. Daarnaast zijn van de 229 steekproefpunten voor de bodembemonstering de oxalaat-extraheerbare fosfaat-, aluminium- en ijzergehalten onder cultuurland bekend. Met behulp van beide gegevens is het mogelijk de fosfaatvrucht naar het

oppervlaktewater te schatten, indien het fosfaatconcentratieverloop in het hele profiel bekend is. In paragraaf 6.2.2 wordt dit profiel afgeleid op basis van gemeten fosfaatgehalten in het grondwater en via de fosfaatgehalten van de bodemonsters. Eerst wordt in paragraaf 6.2.1 ingegaan op de schatting van de fosfaatgehalten in de oppervlakte-afvoer. De P-gehalten in deze paragraaf hebben steeds betrekking op totaal-P-gehalten.

#### 6.2.1 Oppervlakte-afvoer

Uit onderzoek van Oosterom et al. (1980) is gebleken, dat het fosfaatgehalte in de oppervlakte-afvoer sterk kan variëren afhankelijk van de hoogte van de mestgift en de hoeveelheid regen na de mestgift. Voor onbemeste percelen varieerde het gehalte van 0,2 tot 1,5 mg P.l<sup>-1</sup>. In bemeste situaties kunnen zeer hoge gehalten (10-25 mg P.l<sup>-1</sup>) ontstaan vlak na een hoge mestgift (35 ton runderdrijfmest). Deze gehalten namen meer dan evenredig af naarmate de neerslag toenam. Uitgaande van deze gegevens is een gemiddeld fosfaatgehalte van 1-5 mg P.l<sup>-1</sup> gedurende de gehele periode met oppervlakteafvoer reëel.

#### 6.2.2 Grondwaterafvoer

##### 6.2.2.1 Fosfaatgehalten gemeten in grondwater

Per drainagesysteem is voor elk punt het gemiddelde fosfaatgehalte berekend door aan te nemen, dat tussen twee gemeten fosfaatgehalten op verschillende diepten een lineair verband bestaat. Het gehalte van de ondiepste meting is als bovengrens aangehouden. Omdat het grondwater zich tijdens de bemonstering bij een deel van de monsters boven het GHG-niveau bevond (par. 2.4), geven de ondiepste metingen mogelijk een overschatting



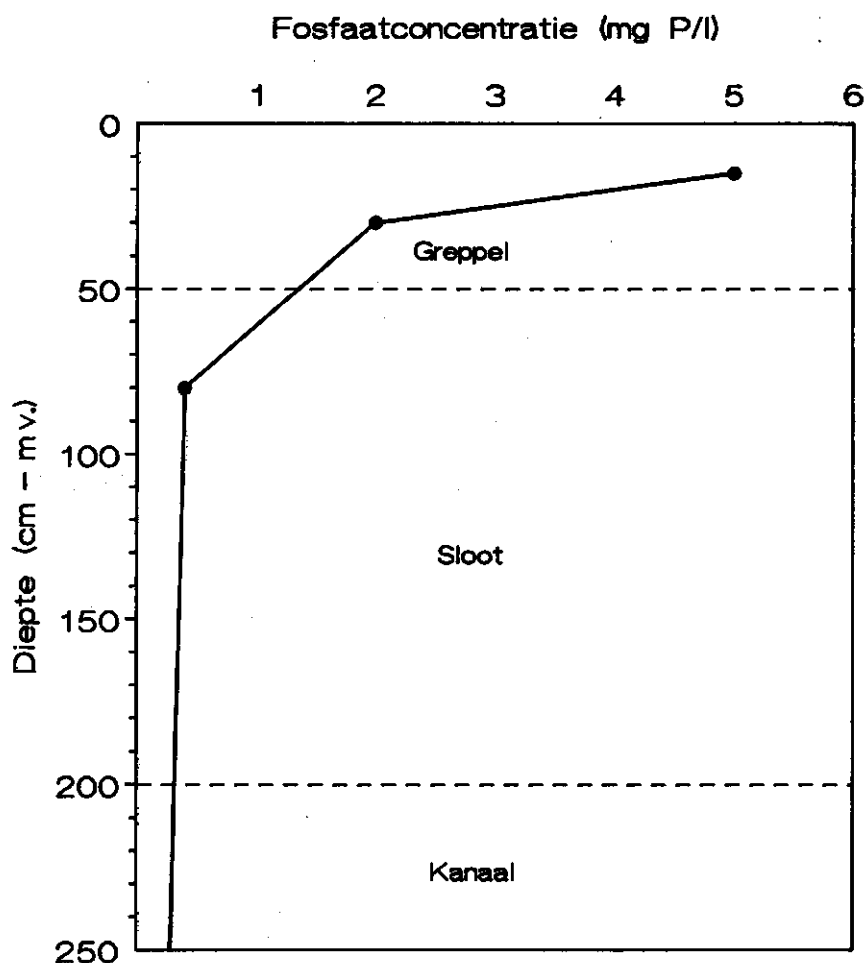


Fig. 9 Voorbeeld van een geschematiseerd verloop van het fosfaatgehalte in het grondwater met de diepte.

Tabel 14 Gemiddelde totaal-P-gehalten per drainagesysteem en grondwatertrap gebaseerd op metingen in het grondwater.

Grondwatertrap	Aantal punten	Totaal-P-gehalte					
		greppels		sloten		kanalen	
		gem. (mg.l <sup>-1</sup> )	vc (%)	gem. (mg.l <sup>-1</sup> )	vc (%)	gem. (mg.l <sup>-1</sup> )	vc (%)
IIa, IIb	5	1,24	47	0,08	106	0,04	12
IIIa, IIIb	9	2,88	93	0,55	115	0,09	55
IV	4	1,81	138	0,22	78	0,07	37
Va, Vb	20	1,76	179	0,48	159	0,08	66
VI,	21	1,40	205	0,55	216	0,07	48
VI, VIII	7	0,15	66	0,11	54	0,05	42

van het jaarlijkse gemiddelde fosfaatgehalte in de laag van 0-50 cm - mv. Voor het fosfaatgehalte beneden de diepste meting is aangenomen dat dit lineair afneemt naar een achter-

grondswaarde van  $0,05 \text{ mg P.l}^{-1}$  op een diepte van 6 meter beneden maaiveld (extrapolatie). Wanneer het gehalte bij de diepste meting lager was dan  $0,05 \text{ mg P.l}^{-1}$  is de gemeten waarde als ondergrens gehanteerd. In Figuur 9 is een voorbeeld gegeven van deze chemische schematisatie. Daarbij is eerst het verloop van het fosfaatgehalte met de diepte per punt vastgesteld en daarna zijn per afvoerend pakket (drainagesysteem) de gemiddelde gehalten per grondwatertrap berekend. In Tabel 14 staat per grondwatertrap en per drainagesysteem aangegeven, welke gehalten aldus gevonden zijn met de bijbehorende variatiecoëfficiënt (vc).

#### 6.2.2.2 Fosfaatgehalten afgeleid uit de bodemgegevens

Een soortgelijke werkwijze is mogelijk door uitgaande van de gemeten fosfaatgehalten in de bodemmonsters van de 229 steekproefpunten onder cultuurland, de fosfaatgehalten in het grondwater af te leiden. Een directe relatie tussen  $\text{P}_{\text{ox}}$ -,  $\text{Al}_{\text{ox}}$ - en  $\text{Fe}_{\text{ox}}$ -gehalten en het fosfaatgehalte in het grondwater is niet mogelijk, omdat het gesorbeerde fosfaat in de bodem ( $\text{P}_{\text{ox}}$ ) uit twee fracties bestaat, namelijk een reversibele geadsorbeerde hoeveelheid en een irreversibele hoeveelheid (Van der Zee, 1988). In verband hiermee is een andere methode gehanteerd.

Aangezien fosfaat in een overbestedingssituatie nagenoeg als een blokfront de bodem indringt, is de dikte van de fosfaatverzadigde laag berekend uit de  $\text{P}_{\text{ox}}$ -,  $\text{Al}_{\text{ox}}$ - en  $\text{Fe}_{\text{ox}}$ -gehalten. Van het totaal-P-gehalte in fosfaatverzadigde lagen zijn nog weinig meetgegevens. Steenvoorden et al. (1988) vonden voor één perceel een gemiddelde ortho-P-gehalte van 10 mg per liter voor de laag van 0-20 cm - mv. Het bijbehorende totaal-P-gehalte is ongeveer  $13 \text{ mg.l}^{-1}$ . In dit rapport is echter een totaal-P-gehalte van 5 mg per liter aangehouden, omdat de gehalten in het grondwater dat mogelijk in fosfaatverzadigde lagen is

doorgedrongen, in het gebied als geheel doorgaans niet veel hoger zijn. Verder is een achtergrondgehalte van  $0,07 \text{ mg P.l}^{-1}$  voor de laag van 2-6 meter beneden maaiveld aangehouden en een lineaire afname van het gehalte tot 2 meter. In Tabel 15 zijn de berekende, gemiddelde fosfaatgehalten per drainagesysteem vermeld.

Tabel 15 Gemiddelde totaal-P-gehalten per drainagesysteem en grondwatertrap gebaseerd op fosfaatgehalten gemeten in de bodem.

Grondwater-trap	Aantal punten	Totaal-P-gehalte					
		greppels (0-50 cm)		sloten (50-200 cm)		kanalen (200-600 cm)	
		gem. $\text{mg.l}^{-1}$	vc (%)	gem. $\text{mg.l}^{-1}$	vc (%)	gem. $\text{mg.l}^{-1}$	vc (%)
IIa, IIb	3	4,19	7	0,15	10	0,07	0
IIIa, IIIb	63	4,48	6	0,63	15	0,07	0
IV	2	4,50	7	0,64	13	0,07	0
Va, Vb	54	4,70	4	1,20	9	0,07	0
VI	60	4,76	3	1,47	8	0,07	0
VII, VIII	47	4,87	3	2,22	13	0,07	0

### 6.3 Totale af- en uitspoeling van fosfaat

#### 6.3.1 Huidige situatie

##### 6.3.1.1 Oppervlakte-afvoer

De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door oppervlakte-afvoer kan berekend worden via:

$$\text{Oafos} = \text{OA}_{\text{tot}} * \text{Cfos}_{\text{OA}} * 10^{-6} \quad (\text{ton P.j}^{-1}) \quad (4)$$

met:  $\text{OA}_{\text{tot}}$  = totale oppervlakte-afvoer ( $\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ )  
 $\text{Cfos}_{\text{OA}}$  = fosfaatgehalte in oppervlakte-afvoer ( $\text{mg P.l}^{-1}$ )

De jaarlijks gemiddelde, totale oppervlakte-afvoer ( $OA_{tot}$ ) over cultuurland is geschat op 224 000 m<sup>3</sup>, terwijl het fosfaatgehalte in de oppervlakte-afvoer van 1 tot 5 mg P.l<sup>-1</sup> kan variëren (par. 6.2.2.1). Hieruit volgt een fosfaatbelasting van het oppervlaktewater tengevolge van oppervlakte-afvoer die varieert van 0,2 tot 1 ton P. In zeer natte winters kan de oppervlakte-afvoer mogelijk nog hoger oplopen.

### 6.3.1.2 Grondwaterafvoer

De volgende formule is gebruikt voor de berekening van de fosfaatbelasting naar het oppervlaktewater per drainagesysteem:

$$GA_{fos_{j,k}} = OPP_j * FRAC_{j,k} * GA_j * \bar{C}_{fos_{j,k}} * 10^{-5} \quad (5)$$

met:  $GA_{fos_{j,k}}$  = fosfaatbelasting voor het oppervlaktewater voor drainagesysteem k op Gt j (ton P.j<sup>-1</sup>)  
 $OPP_j$  = oppervlak grondwatertrap j (ha)  
 $FRAC_{j,k}$  = fractie van de grondwaterafvoer die bij grondwatertrap j wordt afgevoerd via drainagesysteem k  
 $GA_j$  = grondwaterafvoer bij grondwatertrap j (mm.j<sup>-1</sup>)  
 $\bar{C}_{fos_{j,k}}$  = gemiddelde fosfaatconcentratie voor drainage-systeem k op Gt j (mg P.l<sup>-1</sup>)

De totale fosfaatbelasting wordt berekend met:

$$TGA_{fos} = \sum_j \sum_k GA_{fos_{j,k}} \quad (6)$$

met:  $TGA_{fos}$  = totale fosfaatbelasting van het oppervlaktewater (ton P.j<sup>-1</sup>)

De totale fosfaatbelasting door *ondiepe* uitspoeling (via greppels en sloten) bedraagt volgens de berekeningen met behulp van formule (5) en (6) op basis van de gemeten fosfaatgehalten

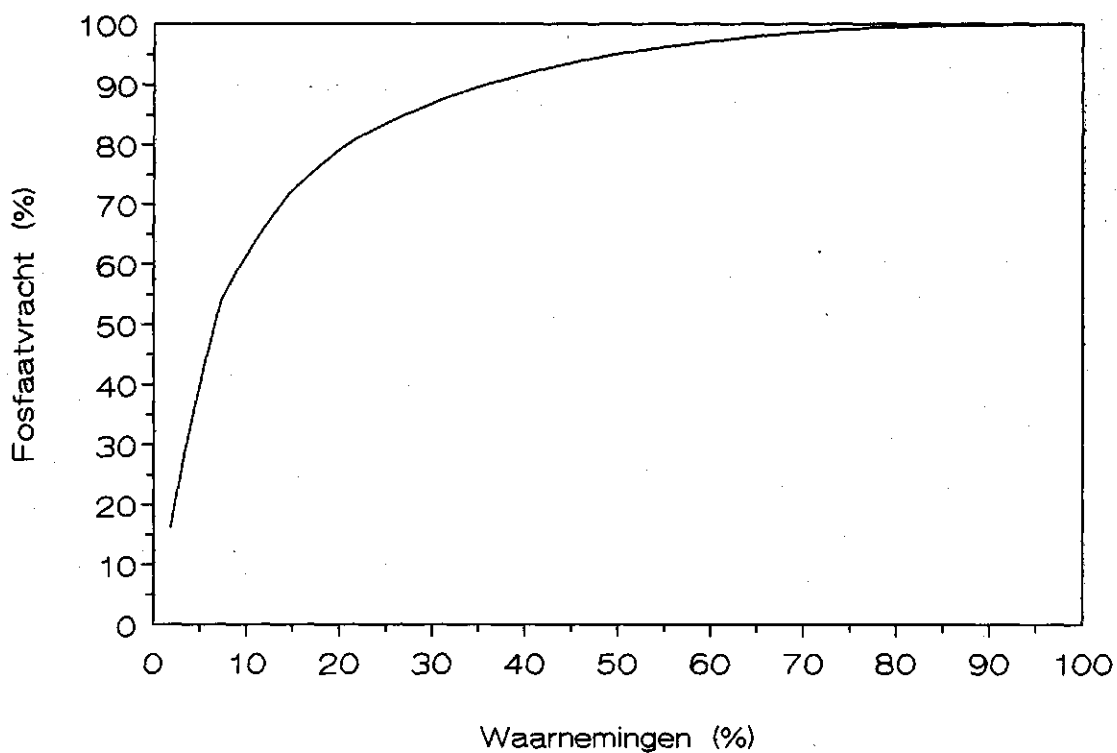


Fig. 10 Cumulatieve verdeling van de fosfaatuitspoeling gebaseerd op grondwatergegevens.

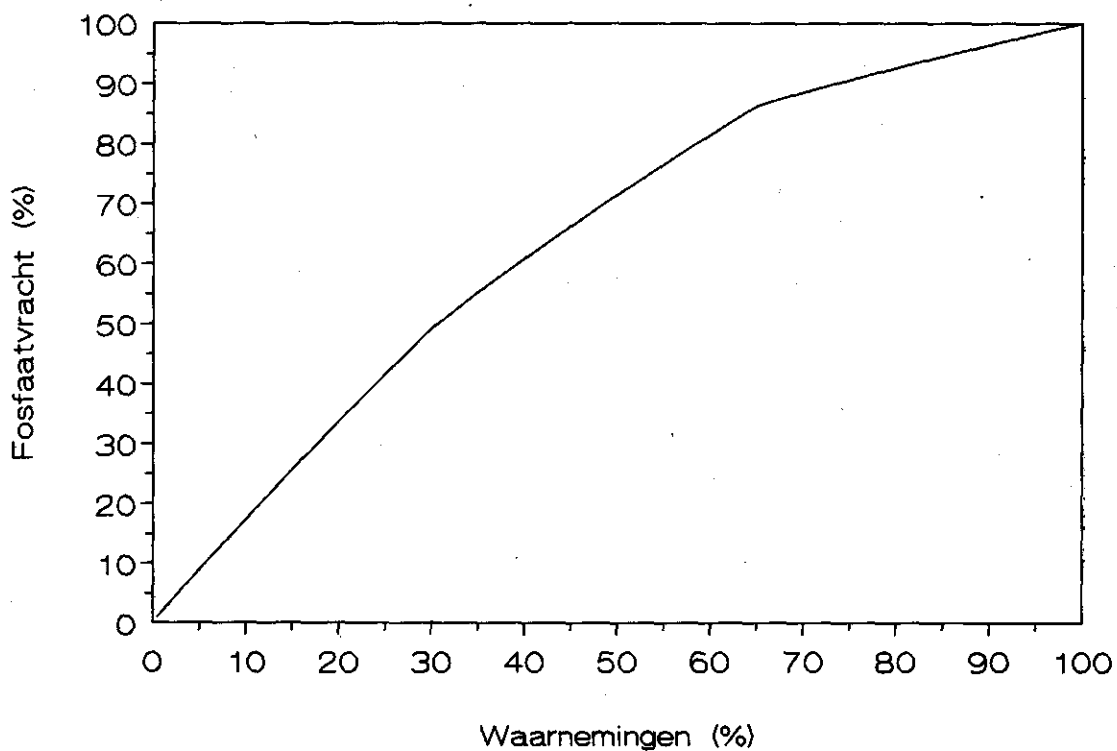


Fig. 11 Cumulatieve verdeling van de fosfaatuitspoeling gebaseerd op bodemgegevens.

5,8 ton P per jaar. In Figuur 10 is cumulatief weergegeven, wat de relatieve bijdrage is van elk van de punten waarbij fosfaatgehalten in het grondwater zijn gemeten. Daaruit blijkt dat ca. 20% van de punten 80% van de fosfaatbelasting verklaart.

De totale fosfaatbelasting op basis van de fosfaatgehalten die uit bodemgegevens zijn afgeleid, bedraagt 11,7 ton P per jaar. In Figuur 11 is hetzelfde verband weergegeven als in Fig. 10, maar nu op basis van de afgeleide gehalten. Daaruit blijkt dat de fosfaatbelasting hier niet door een gering aantal punten wordt verklaard, maar nagenoeg homogeen is verdeeld. Het voordeel van deze laatste berekening is, dat de fosfaattoestand van een groter aantal punten (229 in plaats van 66) gebruikt wordt. Een nadeel is echter dat de fosfaatgehalten niet (rechtstreeks) gemeten zijn.

*De fosfaatbelasting door diepe uitspoeling (kanalendrainage) blijkt gering te zijn, namelijk 0,24 ton P bij een achtergrondconcentratie van 0,07 mg P.l<sup>-1</sup>.*

#### 6.3.1.3 Totale af- en uitspoeling

Uitgaande van bovenstaande berekeningen kan de totale fosfaatvracht vanuit cultuurgronden geschat worden met behulp van de volgende formule:

$$P_{\text{tot}} = OAfos + TGAfos_{\text{ondiep}} + TGAfos_{\text{diep}} \quad (7)$$

De resultaten zijn samengevat in Tabel 16. Uit het voorgaande is gebleken dat de getallen niet meer dan een ruwe schatting zijn. Doordat met een gemiddelde waterflux is gerekend op basis van gegevens uit de periode 1971-1985, gaat het hier om een schatting van de gemiddelde vracht. De schatting via de grondwatermetingen (6,9 ton P per jaar) komt aanzienlijk lager uit dan die via de bodemgegevens (12,9 ton P per jaar). Bij de

eerstgenoemde schatting zit de belangrijkste foutenbron vermoedelijk in de (sterke) hydrologische en bodemfysische schematisatie. Bij deze schatting kan ook het beperkte aantal waarnemingen tot een grotere onnauwkeurigheid leiden. Bij de schatting via de bodemgegevens is de berekende totale uitspoeling hoger dan de gemeten waarden. Dit wijst meer op een onjuiste taxatie van het fosfaatgehalte in het grondwater van de verzadigde lagen.

Tabel 16 Ruwe schatting van de gemiddelde fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door landbouwgronden in het Schuitenbeekgebied (ton P per jaar).

Methode	Afspoeling	Uitspoeling		Totaal
		ondiep	diep	
gemeten P-gehalten <sup>1)</sup>	1	5,8	0,2	6,9
geschatte P-gehalten <sup>2)</sup>	1	11,7	0,2	12,9

1) metingen in het grondwater bij 66 punten

2) schatting uit bodemgegevens bij 229 punten

Niettemin is duidelijk dat de ondiepe uitspoeling bij beide gehanteerde schattingsmethoden de belangrijkste bijdrage levert aan de oppervlaktewaterbelasting vanuit de landbouw. Tevens maakt ook het verschil in de totale uitspoeling voor beide methoden duidelijk, dat een meer nauwkeurige schatting nodig is om de bijdrage van uit- en afspoeling aan te kunnen geven.

Over het gehele gebied (6800 ha) gerekend bedraagt de af- en uitspoeling volgens bovengenoemde schattingen 1,0 resp. 1,9 kg P per ha per jaar. In feite vindt de af- en uitspoeling voornamelijk plaats bij de cultuurgronden met (vrij) hoge grondwaterstanden (vooral Gt III, V en VI). Bij deze gronden, die ongeveer 50% van het onderzochte gebied beslaan (Tabel 4), bedraagt de fosfaatafspoeling en -uitspoeling in totaal 2,0 resp. 3,8 kg P per ha per jaar.

### 6.3.2 Toekomstige ontwikkeling

Gezien de grote bijdrage van de uitspoeling aan de fosfaatbelasting uit landbouwgronden is het van belang te weten hoe de uitspoeling in de toekomst kan verlopen. Daarbij speelt de mogelijke toename van de fosfaatverzadigingsgraad in het gebied een belangrijke rol. Uit Fig. 5 is gebleken welke toename nog tot het jaar 2000 kan optreden, wanneer de maximaal toegestane fosfaatgiften via dierlijke mest zouden worden gegeven. Op grond van dezelfde opvatting kan worden berekend, hoever het blokfront bij de 229 steekproefpunten van de bodembemonstering nog op kan schuiven. Via de daaruit af te leiden toename in de fosfaatafvoer naar het oppervlaktewater is berekend, dat de uitspoeling nog kan toenemen van 11,7 tot 13,4 ton P per jaar. Deze toename kan worden tegengegaan door vervroegd op de eindnorm over te gaan in het kader van de Regeling Fosfaatverzadigde Gronden. De effecten daarvan zullen echter relatief klein zijn, omdat de bijdrage van de landbouw aan de totale fosfaatbelasting van de Schuitenbeek reeds hoog is (hfdst. 7).

Voor de toekomstige ontwikkeling is vooral van belang dat een deel van het vastgelegde fosfaat door desorptie weer langzaam vrij kan komen (Van der Zee, 1988; Jansen et al., i.v.). Afhankelijk van de fosfaatverzadigingsgraad blijft de uitspoeling daardoor nog lange tijd, vermoedelijk minstens enkele tientallen jaren, op een zelfde niveau.



7 BIJDRAGE VAN DE LANDBOUW AAN DE FOSFAATBELASTING VAN  
DE SCHUITENBEEK

Voor het schatten van de bijdrage van de landbouw aan de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek zijn de metingen gebruikt die vanaf 1976 aan de monding van de beek zijn verricht. Deze zijn onlangs door DBW-RIZA ter beschikking gesteld. De belangrijkste gegevens zijn samengevat in Tabel 17. Uit deze gegevens blijkt dat de fosfaatafvoer door de Schuitenbeek in 1976-1979 9,3 ton P per jaar bedroeg en in 1985-1987 10,9 ton. De spreiding tussen afzonderlijke jaren is vrij groot zoals de gegevens van 1985-1987 laten zien. Gemiddeld genomen bedraagt de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek over de periode 1976-1987 10,1 ton P per jaar.

De bijdrage van de verschillende bronnen is weergegeven in Tabel 18. De bijdragen van de verspreide bebouwing, toeristisch-recreatieve inrichtingen en overstorten is geschat op basis van een recent onderzoek voor de BOVAR deelprojectgroep 6 (Kappe, 1988). Daarbij is aangenomen dat bij de twee eerstgenoemde bronnen 45% van de fosfaatproduktie in het oppervlaktewater terecht komt. De gegevens over de gemiddelde toevoer van fosfaat via afvalwater van de industrie zijn afkomstig van het Zuiveringsschap Veluwe. De natuurlijke afvoer is berekend door een achtergrondgehalte van 0,08 mg P per liter aan te houden en dit te vermenigvuldigen met het gemiddelde debiet van  $9,7 * 10^6 \text{ m}^3$  per jaar. De gemiddelde bijdrage van de landbouw is als restpost berekend. Uit Tabel 18 blijkt dat deze 82% bedraagt.

Vergelijking met Tabel 16 laat zien dat de berekende waarden voor de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden in dit rapport in dezelfde orde van grootte liggen als de gemeten waarden. In beide gevallen gaat het om langjarig gemiddelden. Ten opzichte van de afgeleide waarde van 8,6 ton P per jaar voor de land-

bouwbijdrage in Tabel 18, ligt onze eerste schatting (6,9 ton P per jaar) lager en de tweede schatting (12,9 ton P per jaar) hoger. Laatstgenoemde schatting is duidelijk te hoog gezien de gemeten vrachten (Tabel 17).

Hoewel een nauwkeurige schatting van de absolute landbouwbijdrage nog niet mogelijk is, lijkt het wel waarschijnlijk dat de relatieve bijdrage, voornamelijk in de vorm van uitspoeling, in de orde van 60-80% ligt. (N.B. De 60% is gebaseerd op de laagste schatting van 6,9 ton en de 80% op Tabel 18). De bijdrage is dus op dit moment reeds hoog en de te verwachten toename relatief klein.

Tabel 17 Gemiddelde totaal-fosfaatvrachten en debiet-gemiddelde totaal-P-gehalten bij de monding van de Schuitenbeek (Bron: DBW-RIZA).

Periode	Totaal-P-vracht (ton per jaar)	Totaal-P-gehalte (mg per liter)
1976-1979	9,3	1,15
1980-1983	10,2	1,05
1985-1987	10,9 <sup>1)</sup>	0,95
gemiddeld:	10,1	1,05

1) Gemiddelde van 5,3 (1985), 9,3 (1986) en 18,0 (1987)

Tabel 18 Bijdrage van de verschillende bronnen aan de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek.

Bron	Ton P per jaar	%
verspreide bebouwing <sup>1)</sup>	0,5	5
afvalwaterlozing <sup>2)</sup>	0,5	5
natuurlijke afvoer	0,8	8
landbouw	8,6	82
totaal	10,1 <sup>3)</sup>	100

1) Bron: Kappe, 1988

2) periode 1979-1987. Bron: Zuiveringsschap Veluwe

3) periode 1976-1987. Bron: DBW-RIZA

## 8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek kunnen als volgt worden samengevat.

- 1 Het fosfaatgehalte van de landbouwgronden in het Schuitenbeekgebied is over het algemeen hoog tot zeer hoog. In de laag 0-50 cm - mv. is het gemiddelde gehalte aan oxalaat-extraheerbaar fosfaat in natuur- en cultuurgronden respectievelijk 1,5 en 8,9 ton  $P_2O_5$  per ha.
- 2 De fosfaatgehalten zijn het hoogst bij maïsland (gemiddeld 11,3 ton  $P_2O_5$  per ha). Ongeveer 80% van de cultuurgronden bestaat uit grasland. Ook bij deze vorm van bodemgebruik werden hoge gehalten aangetroffen als gevolg van recente overbemesting. Bij de veel voorkomende veldpodzolgronden was het fosfaatgehalte van de laag 0-50 cm - mv. onder grasland 7,0 ton  $P_2O_5$  per ha.
- 3 Het gemiddelde fosfaatgehalte is bij gronden met een relatief hoge wintergrondwaterstand (voornamelijk grondwatertrap III, V en VI) wel lager dan bij de drogere gronden, maar gemiddeld genomen toch hoog (7,7 ton  $P_2O_5$  per ha).
- 4 De gevolgen van de fosfaatbelasting van de bodem voor de uitspoeling van fosfaat worden voornamelijk bepaald door het fosfaatbindend vermogen van de bodemlagen die zich boven de grondwaterspiegel bevinden. Het totale fosfaatbindend vermogen is daardoor sterk afhankelijk van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). De gemiddelde waarden per groep van kaartenheden varieert van 12-15 ton  $P_2O_5$  per ha voor "natte" veldpodzol- en beekerdgronden (meest grondwatertrap III en V) tot 40-60 ton  $P_2O_5$  per ha voor de drogere enkeerdgronden (meest Gt VII en VIII).

- 5 Uit het grondwateronderzoek blijkt dat de totaal-fosfaatgehalten in het grondwater rond het GHG-niveau bij 80% van de punten de norm voor de basiskwaliteit van het oppervlaktewater overschrijden (0,15 mg totaal-P per liter). Dit betreft vrijwel uitsluitend gronden met een relatief hoge wintergrondwaterstand (grondwatertrap III, V en VI). Bij 6% van de punten is het totaal-fosfaatgehalte op het GHG-niveau groter dan 6 mg totaal-P per liter. De situatie komt overeen met die op het perceel waar eerder een gedetailleerd onderzoek is uitgevoerd.
  
- 6 De fosfaatverzadigingsgraad is bij ongeveer 70% van de landbouwgronden groter dan 35%. Bij deze gronden overschrijden de fosfaatgehalten in het grondwater op GHG-niveau volgens een theoretisch model de bovengenoemde kwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater. De mediaan van de waarnemingen ligt bij een fosfaatverzadigingsgraad van 40-50%.
  
- 7 Het procentuele oppervlak waar volgens het bodemonderzoek de norm van 0,15 mg per liter wordt overschreden stemt goed overeen met het percentage punten dat volgens het grondwateronderzoek deze norm overschrijdt.
  
- 8 De fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is voor het overgrote deel een gevolg van ondiepe uitspoeling via de bodem. De schatting van de absolute uitspoeling is nog erg onnauwkeurig door de sterke schematisatie van de hydrologische en bodemfysische gegevens. De geschatte waarden voor de gemiddelde totaal-fosfaatbelasting van het oppervlaktewater variëren van 6,9 tot 12,9 ton P per jaar. Over het hele gebied (6800 ha) gerekend bedraagt de af- en uitspoeling 1,0 resp. 1,9 kg P per ha per jaar. In werkelijkheid wordt de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vooral veroorzaakt door de (relatief) natte cultuurgronden met grondwatertrap III, V en VI. Voor deze gronden bedraagt de schatting van de af- en uitspoeling 2,0 resp. 3,8 kg P per ha per jaar.

- 9 Vergelijking van de schattingen met gegevens van de fosfaat-afvoer door de Schuitenbeek geven aan, dat de relatieve bijdrage van de landbouw aan de fosfaatbelasting van de Schuitenbeek gemiddeld waarschijnlijk in de orde van 60-80% ligt.
- 10 In de toekomst kan de fosfaatbelasting door de landbouw nog enigszins toenemen, wanneer de maximaal toegestane hoeveelheid dierlijke mest wordt toegediend. Door desorptie van een deel van het vastgelegde fosfaat zal de uitspoeling, afhankelijk van de fosfaatverzadigingsgraad, nog lange tijd op hetzelfde niveau blijven.

Het onderzoek heeft aangetoond dat het fosfaatgehalte van de bodem sterk is toegenomen en dat de bijdrage van de landbouw aan de fosfaatbelasting daardoor vooral een gevolg is van uitspoeling via de bodem. Uit de literatuur is bekend dat een deel van het opgehoopte fosfaat weer langzaam vrij kan komen. Gevreesd moet worden dat het daardoor nog zeer lang zal duren voor de fosfaatuitspoeling zal afnemen. Een verscherping van de algemene mestnormen leidt voorlopig alleen tot een geringere toename van de uitspoeling. Er zullen daarom extra maatregelen nodig zijn om op korte termijn tot een vermindering van de fosfaatuitspoeling te komen. Daarbij valt onder andere te denken aan ingrepen in de water- en fosfaathuishouding via drainage, peilbeheer en toediening van aluminium- en ijzeroxiden. Dergelijke maatregelen sorteren uiteraard het meeste effect bij de sterkst verzadigde gronden of deelgebieden. Het is zelfs mogelijk dat alleen een gerichte aanpak van deze gebieden nodig is om voldoende effect te sorteren.

Om te bezien of deze maatregelen levensvatbaar zijn voor effecten op de fosfaathuishouding en de kosten, is maatregelbegeleidend onderzoek nodig. Dit maatregelbegeleidend onderzoek is op te splitsen in enerzijds veld- en laboratoriumonderzoek, en anderzijds modelonderzoek. Veldonderzoek is nodig voor de toetsing van maatregelen in deelgebieden, en laboratoriumproeven voor onderzoek naar geschikte aluminium- of ijzerverbindingen. Met modelberekeningen kan worden getracht de effecten van maatregelen op gebiedsniveau te simuleren.

## LITERATUUR

- Bakker, H. de en J. Schelling, 1966. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. Wageningen, PUDOC.
- Berghuijs-van Dijk, J.T., P.E. Rijtema en C.W.J. Roest, 1985. ANIMO Agricultural nitrogen model. Wageningen, Institute for Land and Watermanagement Research. Nota 1671.
- Breeuwsma, A. en O.F. Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1866.
- Breeuwsma, A., E.J. Jansen en R. Visschers, 1987. Fosfaatverzadigingen kopertoestand van bouwlandpercelen in Ambt-Delden. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1896.
- Cochran, W.G., 1977. Sampling Techniques, 3rd Ed. New York, John Wiley and Sons.
- Eulen, J.R., 1983. Eutrofiëringsonderzoek in het Wolderwijd-Nuldernauw, aanbevelingen voor herstel. H<sub>2</sub>O Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling (16), nr. 8, 168-172.
- IMP Milieubeheer, 1987-1991. Indicatief Meerjaren Programma Milieubeheer 1987-1991. Tweede Kamer, vergaderjaar 1986-1987, 19707 nr. 1-2.
- Jansen, E.J., en R.A. Koning, 1986. De bepaling van aluminium, ijzer en fosfaat in oxalaatextracten met ICP en AES. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1950.
- Kappe, L.J., 1988. Riolerings situatie en fosfaatlozingen in Veluwe randmeergemeenten. Lelystad, Rijkswaterstaat, Directie Flevoland. Rapport BOVAR deelprojectgroep 6.

- Marsman, B.A. and J.J. de Gruijter, 1986. Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area. Wageningen, Soil Survey Institute. Soil Survey Papers, no. 15.
- NEN, 1981. Water-Fotometrische bepaling van het gehalte aan fosforverbindingen, NEN 6479. Nederlands Normalisatie-instituut.
- Nijboer, L.F., 1986. Uit- en afspoeling van fosfor en stikstof afkomstig van bemesting in de landbouw. Wageningen, ICW. Nota 1742.
- Oosterom, H.P. en J.H.A.M. Steenvoorden, 1980. Chemische samenstelling van oppervlakkig afstromend water (proefveld onderzoek te Achterveld). Wageningen, ICW. Nota 1237.
- Oudendag, D., O.F. Schoumans en A. Breeuwsma, 1984. Vereenvoudigingen in de bepaling van het fosfaatbindend vermogen. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1849.
- Pape, J.C., 1972. Oude landbouwgronden in Nederland. In: Boor en Spade XVIII, 85-115. Wageningen, Veenman.
- PER, 1982. Eutrofiëringsonderzoek Wolderwijd-Nulderneau. Projectgroep Eutrofiëringsonderzoek Randmeren.
- Schoumans, O.F., W. de Vries en A. Breeuwsma, 1986. Een fosfaattransportmodel voor toepassing op regionale schaal. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1951.
- Schoumans, O.F. en A. Breeuwsma, 1989. Verkennend onderzoek naar het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatverzadiging van de bodem in Drenthe. Wageningen, STIBOKA. Rapport 2062.

- Schurer, K. en J.C. Rigg, 1980. Grootheden en eenheden in de landbouw en biologie. Wageningen, PUDOC.
- Snijdelaar, M., 1983. Eutrofiëringsproblematiek van de randmeren. *H<sub>2</sub>O Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling* (16), nr. 8, 183-185.
- Steenvoorden, J.H.A.M., A. Breeuwsma, W.A. de Boer en J.G.A. Reijerink, 1988. Fosfaatuitspoeling uit een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond. Wageningen, ICW. Rapport 34.
- Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1983. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen. Wageningen, STIBOKA.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Wageningen, STIBOKA. Rapport 2055.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, 1988. Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems. Dissertatie Landbouwuniversiteit, Wageningen.



## AANHANGSEL 1

Indeling, oppervlak en aantal steekproefpunten van de groepen van kaarteenheden die voor de gegevensverwerking zijn samengesteld.

Groep van kaarteenheden		Landbouw		Natuur	
code	Gt- <sup>1)</sup> eenheid	oppervlak	punten	oppervlak	punten
1 : 50 000					
ABv	nat	19	4	4	0
AS	nat	36	1	31	2
bEZ	nat	7	0	0	0
Mn(p)	nat	116	4	5	0
cHn	nat	35	5	0	0
Hn	nat	991	31	246	11
fpZg	nat	241	16	35	3
(kp)Zg	nat	563	34	82	7
bEZ	matig nat	200	11	12	1
Mn(p)	matig nat	9	2	0	0
cHn	matig nat	196	18	13	2
Hn	matig nat	837	27	323	11
fpZg	matig nat	23	2	2	1
(kp)Zg	matig nat	3	1	0	0
zEZ	matig nat	106	10	12	1
AS	nat/droog	167	6	223	11
Hn	nat/droog	0	0	9	2
zEZ	nat/droog	24	2	0	0
AS	droog	7	1	21	5
bEZ	droog	93	7	9	0
cHn	droog	11	3	1	0
Hn	droog	103	5	44	3
cY	droog	168	10	432	18
(g)Hd	droog	72	8	324	21
zEZ	droog	561	21	61	15

1) zie Aanghangsel 2 voor de indeling van grondwatertrappen in groepen ("Gt-<sup>1)</sup>eenheden")

## AANHANGSEL 2

Grondwatertrappenindeling en indeling van (associaties van) grondwatertrappen in Gt-eenheden.

## Grondwatertrappenindeling

Gt-code	GHG (cm - mv.)	GLG (cm - mv.)
II	( < 40)	50- 80
IIIa	< 25	80-120
IIIb	25- 40	80-120
IV	> 40	80-120
Va	< 25	> 120
Vb	25- 40	> 120
VI	40- 80	> 120
VII	80-140	> 120
VIII	> 140	> 120

## Indeling van (associaties van) grondwatertrappen in Gt-eenheden

Gt-eenheid	Grondwatertrappen	GHG-traject <sup>1)</sup> (cm - mv.)
nat	II, III, V, III/V <sup>2)</sup>	0- 40
matig nat	IV, VI, en ass. met III en V, (III/IV, III/VI, V/VI)	40- 80
nat/droog	ass. van V met VII en VIII (V/VI/VII, V/VI/VIII, V/VII, V/VIII/VIII, V/VIII)	40-> 140
droog	VII, VIII en ass. met VI (VI/VII, VI/VIII)	80-> 140

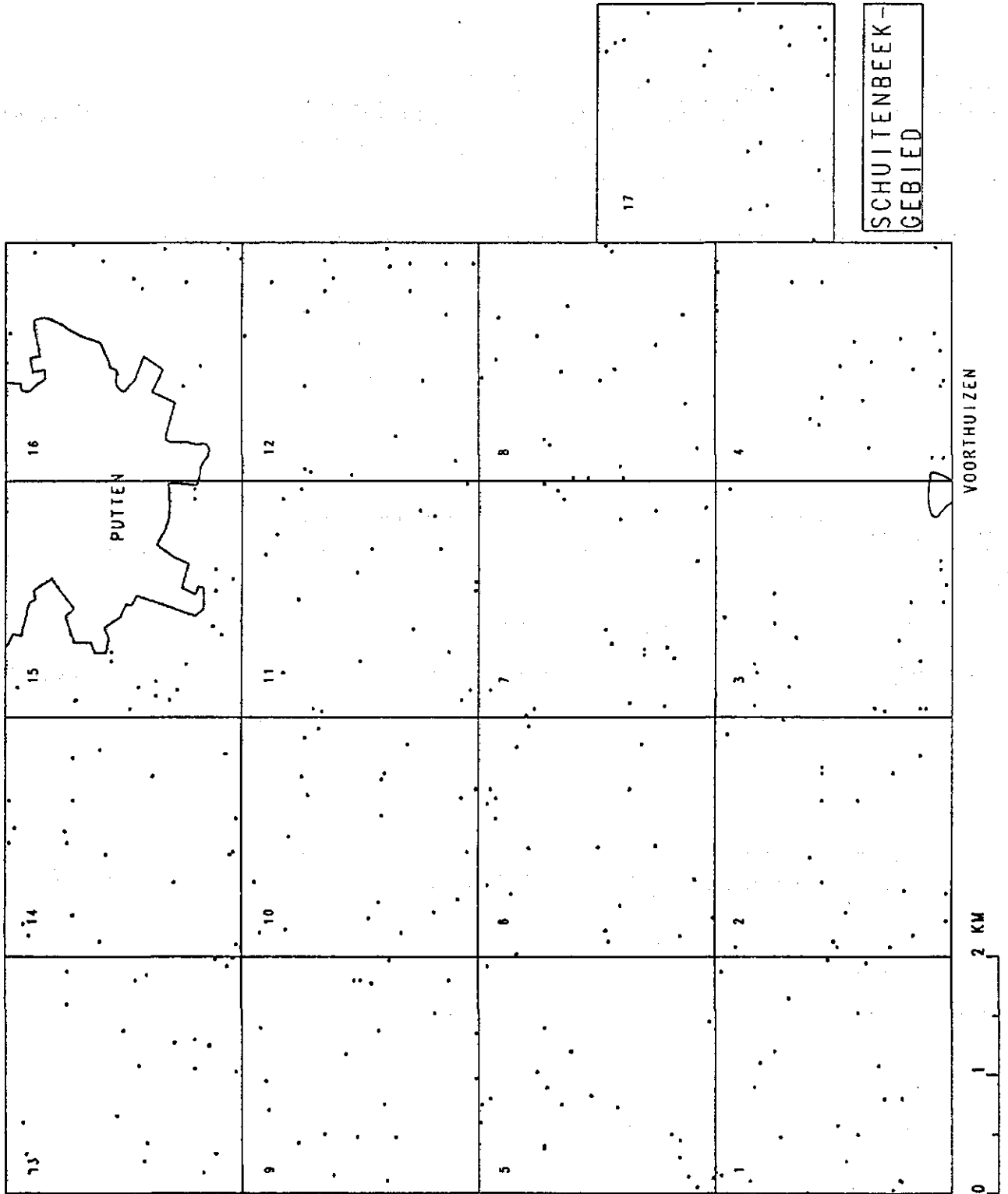
1) meest voorkomende waarden, Steur en Heijink, 1983

2) incl. drogere delen met GHG dieper dan 25 cm - mv. (IIb, IIIb en Vb)

AANHANGSEL 3

Steekproefpunten van de bodembemonstering

LIGGING STEEKPROEFPUNTEN VAN DE BODEMBEMONSTERING



## AANHANGSEL 4

## Statistische verwerking van de steekproefgegevens

1. *Schatting van het gemiddelde van fosfaatbindend vermogen, actuele fosfaatgehalte en fosfaatverzadigingsgraad.*

In deze paragraaf duiden we het gemiddelde fosfaatbindend vermogen (FBV), het gemiddelde actuele fosfaatgehalte ( $P_{act}$ ) en de gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in de populatie aan met  $\bar{X}$ .  $\bar{X}$  kan geschat worden m.b.v. het gemiddelde van FBV,  $P_{act}$  of FVG in de steekproef ( $\bar{x}$ ).  $\bar{x}$  is bij een aselechte steekproef een zuivere schatter van  $\bar{X}$ . Bij een gestratificeerde steekproef worden eerst de stratum-gemiddelden berekend en vervolgens door middel van wegen het steekproefgemiddelde:

$$\bar{x} = \sum_{h=1}^L W_h \cdot \bar{x}_h \quad (1)$$

$L$  : aantal strata

$W_h$  : gewicht van stratum  $h$

$\bar{x}_h$  : het steekproefgemiddelde in stratum  $h$

Het gewicht  $W_h$  is de omvang van het stratum, gedefinieerd als de verhouding  $N_h/N$  van het aantal profielen in stratum  $h$  en in het totale gebied (of in het geval gemiddelde waarden voor een groep van kaarteenheden of cel wordt berekend: de verhouding van het aantal profielen in stratum  $h$  en in het gebied ingenomen door de groep van kaarteenheden of de cel).  $W_h$  wordt gemeten d.m.v. het relatieve oppervlak van stratum  $h$  ( $A_h$ ), d.w.z. het oppervlak van stratum  $h$  gedeeld door het totale oppervlak (of het oppervlak van de groep van kaarteenheden of de cel). De nauwkeurigheid van het steekproefgemiddelde als schatter van het populatiegemiddelde, is afhankelijk van de variantie van  $\bar{x}$  in de steekproefruimte ( $\sigma^2(\bar{x})$ ). Deze wordt op zijn beurt geschat met behulp van de variantie van het steekproefgemiddelde ( $s^2(\bar{x})$ ).

Voor de afzonderlijke strata geldt:

$$s^2(\bar{x}_h) = \frac{s^2(x_h)}{n_h} \cdot \left(1 - \frac{n_h}{N}\right) \quad (2)$$

Bij relatief kleine steekproeven nadert de verhouding  $n_h/N$  naar 0, zodat bovengenoemde formule vervangen kan worden door:

$$s^2(\bar{x}_h) = \frac{s^2(x_h)}{n_h} \quad (3)$$

De variantie van het steekproefgemiddelde van een gestratificeerde steekproef wordt verkregen door de varianties van de steekproefgemiddelden binnen strata te wegen:

$$s^2(\bar{x}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot \frac{s^2(x_h)}{n_h} \quad (4)$$

Aangezien het steekproefgemiddelde naar verwachting ongeveer een normale verdeling heeft, kan met  $s^2(\bar{x})$  een betrouwbaarheidsinterval voor  $\bar{X}$  berekend worden.

De variantie van FBV,  $P_{act}$ , FVG in de populatie of subpopulaties ( $\sigma^2(x)$ ) kan geschat worden met behulp van de volgende schatter (Marsman en de Gruijter, 1986):

$$s^2(x) = \bar{x}^2 - \bar{x}^2 + s^2(\bar{x}) \quad (5)$$

De verwachting van deze schatter is gelijk aan de variantie van  $x$  in de populatie.  $s^2(x)$  is dus een zuivere schatter van  $\sigma^2(x)$ . De nauwkeurigheid van deze schatter is niet bekend. Bij een gestratificeerde steekproef wordt  $s^2(x)$  berekend door eerst het gemiddelde van  $x_h^2$  en  $x_h$  en de variantie van het gemiddelde ( $s^2(\bar{x}_h)$ ) van de strata te berekenen en daarna door middel van weging met het relatieve oppervlak of het kwadraat hiervan  $\bar{x}$ ,  $\bar{x}^2$  en  $s^2(\bar{x})$ :

$$s^2(x) = \sum_{h=1}^L W_h \cdot \bar{x}_h^2 - \left\{ \sum_{h=1}^L W_h \cdot \bar{x}_h \right\}^2 + \sum_{h=1}^L W_h^2 \cdot \frac{s^2(x_h)}{n_h} \quad (6)$$

## 2. Schatting van het percentage fosfaatverzadigd oppervlak

Het percentage fosfaatverzadigd oppervlak van het totale gebied of een deelgebied is gedefinieerd als het deel (uitgedrukt in %) van het oppervlak dat verzadigd is met fosfaat. Deze grootheid is geschat met de fosfaatverzadigingsindex van individuele profielen:

$x_i = 1$  als FVG van het  $i$ -de profiel  $\geq 35\%$  is.

$x_i = 0$  als FVG van het  $i$ -de profiel  $< 35\%$  is.

Het percentage fosfaatverzadigd oppervlak ( $\bar{x}$ ) van een gebied is gedefinieerd als het gemiddelde van de fosfaatverzadigingsindices van alle  $N$ -profielen in dit gebied, vermenigvuldigd met 100:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} \cdot 100 \quad (7)$$

$\bar{x}$  wordt geschat met behulp van de verhouding tussen het aantal verzadigde steekproefprofielen en het totaal aantal steekproefprofielen:

$$\bar{x}_h = \sum_{i=1}^{n_h} \frac{x_{hi}}{n_h} \quad (8)$$

$$\bar{x} = \left\{ \sum_{h=1}^L W_h \cdot \bar{x}_h \right\} \cdot 100 \quad (9)$$

Voor de berekening van de betrouwbaarheid van deze schatting moet de variantie van  $\bar{x}$  in de steekproefruimte ( $\sigma^2(\bar{x})$ ) geschat worden.  $\sigma^2(\bar{x})$  wordt geschat met de variantie van  $\bar{x}$  in de steekproef ( $s^2(\bar{x})$ ). Bij een gestratificeerde steekproef wordt  $s^2(\bar{x})$  berekend met de steekproefvarianties uit de strata:

$$s^2(\bar{x}_h) = \sum_{i=1}^{n_h} \frac{(x_{hi} - \bar{x}_h)^2}{(n_h - 1)} \quad (10)$$

$$s^2(\bar{x}) = \sum_{h=1}^L w_h^2 \cdot \frac{s^2(\bar{x}_h)}{n_h} \quad (11)$$

Bij grote steekproefomvang is  $\bar{x}$  ongeveer normaal verdeeld en kan het 90% betrouwbaarheidsinterval berekend worden als  $\bar{x} \pm 1,65 * s(\bar{x})$ . Het betrouwbaarheidsinterval van  $\bar{x}$  van het totale gebied ( $n=334$ ) en van het cultuurgebied is op deze wijze berekend. Bij kleine steekproefomvang en/of  $\bar{x}$  dicht bij 0 of 100% kan het interval berekend worden met de formule:

$$P_i^{+, -} = \frac{C + 2n_i \pm \sqrt{C(C + 4n_i(N - n_i)N^{-1})}}{2(N + C)} \quad (12)$$

C: 100(1- $\alpha$ )% percentiel van de chi-kwadraat verdeling met 1 vrijheidsgraad (C=2,71 bij  $\alpha=0,1$ )

Het betrouwbaarheidsinterval van  $\bar{x}$  van cellen en groepen van kaarteenheden is met deze formule berekend.

### 3. *Schatting van het gemiddelde actuele fosfaatgehalte en percentage fosfaatverzadigd oppervlak van de bodemgebruikseenheden cultuur en natuur en van grondwatertrapeenheden.*

Omdat er mogelijk een relatie bestaat tussen de hoeveelheid fosfaat in het bodemprofiel en het bodemgebruikstype, is het gemiddelde actuele fosfaatgehalte en het percentage fosfaat-

verzadigd oppervlak van de verschillende bodemgebruikseenheden geschat. Hoewel niet is gestratificeerd naar bodemgebruik is het toch mogelijk fosfaatkaracteristieken van bodemgebruikseenheden te schatten, omdat bij de steekproefpunten ook het bodemgebruik is geïnventariseerd. Van de subpopulaties cultuur en natuur is bovendien de omvang bekend. Deze is bepaald door middel van meting van de oppervlakte met de topografische kaart. Voor de berekening van de variantie van het gemiddelde bij een gestratificeerde steekproef zijn minstens 2 waarnemingen per stratum noodzakelijk. Strata waarin slechts 1 profiel voorkomt in bodemgebruikseenheid u, zijn bij deze schatting dan ook vervallen. Het gemiddelde actuele fosfaatgehalte en het percentage fosfaatverzadigd oppervlak is berekend door weging van de stratagemiddelden:

$$\bar{x}_u = \sum_{h=1}^L w_h \cdot \bar{x}_{hu} \quad (13)$$

$w_h$  = gewicht van stratum h gemeten als verhouding van oppervlak van bodemgebruikseenheid u in stratum h en totale oppervlak van bodemgebruikseenheid u

$\bar{x}_{hu}$  = steekproefgemiddelde van  $\bar{x}$  in stratum h en bodemgebruikseenheid u

De variantie van het gemiddelde is geschat met behulp van de formule (Cochran, 1977, pag. 135):

$$s^2(\bar{x}_u) = \frac{1}{n_u} \cdot \sum_{h=1}^L w_h \cdot s^2(x_{hu}) + \frac{1}{n_u^2} \cdot \sum_{h=1}^L (1 - w_h) s^2(x_{hu}) \quad (14)$$

$n_u$  = som van aantal steekproefprofielen in bodemgebruikseenheid u in strata met meer dan 1 profiel in bodemgebruikseenheid u

$s^2(\bar{x}_u)$  = steekproefvariantie van  $\bar{x}$  in bodemgebruikseenheid u

$s^2(x_{hu})$  = steekproefvariantie van x in bodemgebruikseenheid u in stratum h

Dezelfde procedure is toegepast voor de berekening van gemiddelde waarden van grondwatertrapeenheden. Gedurende het onder-



zoek bleek dat het principe gevolgd bij de clustering van kaart-eenheden tot strata niet optimaal was. Deze clustering is weliswaar mede gebaseerd op de grondwatertrap van de verschillende kaarteenheden, maar de gehanteerde indeling in grondwatertrapeenheden bleek wat betreft mate van fosfaatverzadiging niet erg gelukkig te zijn. Om deze reden is een nieuwe indeling gemaakt. In Aanhangsel 3 is weergegeven welke grondwatertrappen tot de vier (nieuwe) grondwatertrapeenheden zijn gerekend. Aangezien de oppervlakte van deze grondwatertrapeenheden bepaald kon worden met de niet gegeneraliseerde bodemkaart, kon voor de berekening van deze grondwatertrapeenheden dezelfde werkwijze gevolgd worden als bij die van de bodemgebruikseenheden cultuur en natuur.

Naast gemiddelde waarden van bodemgebruikseenheden en grondwatertrapeenheden zijn op dezelfde wijze ook gemiddelde waarden berekend voor combinaties van beide indelingen n.l. van cultuurland per grondwatertrapeenheid.

4. *Schatting van het gemiddelde actuele fosfaatgehalte en percentage fosfaatverzadigd oppervlak van de bodemgebruikseenheden gras en maïs*

In tegenstelling tot de bodemgebruikseenheden cultuur en natuur, is van de bodemgebruikseenheden maïs en gras niet de omvang bekend. Deze moet dan ook geschat worden met het relatieve aantal steekproefprofielen in deze bodemgebruikseenheden. Achtereenvolgens zijn de volgende grootheden geschat:

$$1. \quad \hat{A}_{hu} = \frac{n_{hu}}{n_h} \cdot A_h \quad (15)$$

$\hat{A}_{hu}$ : geschatte relatieve aantal profielen behorend tot bodemgebruikseenheid u in stratum h

$A_h$ : relatieve aantal profielen in stratum ( $N_h/N$ ) gemeten als relatieve oppervlak

$$2. \quad \hat{A}_u = \sum_{h=1}^L \frac{n_{hu}}{n_h} \cdot A_h \quad (16)$$

$\hat{A}_u$  = geschatte relatieve aantal profielen behorend tot bodemgebruikseenheid u in (deel)gebied

$$3. \quad \hat{x}_{hu} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hu}} x_{hui}}{n_{hu}} \cdot \hat{A}_{hu} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{hu}} x_{hui}}{n_h} \cdot A_h \quad (17)$$

$$4. \quad \hat{x}_u = \sum_{h=1}^L \hat{x}_{hu} = \sum_{h=1}^L \frac{\sum_{i=1}^{n_{hu}} x_{hui}}{n_h} \cdot A_h \quad (18)$$

Deling van (16) en (18) levert een schatting op van  $\bar{x}_u$ :

$$\bar{x}_u = \frac{\hat{x}_u}{\hat{A}_u} = \frac{\sum_{h=1}^L \frac{\sum_{i=1}^{n_{hu}} x_{hui}}{n_h} \cdot A_h}{\sum_{h=1}^L \frac{n_{hu}}{n_h} \cdot A_h} \quad (19)$$

De variantie van  $\bar{x}$  van bodemgebruikseenheid u is berekend met de formule (Cochran, 1977, pag. 143 e.v.):

$$s^2(\bar{x})_u = \frac{1}{\hat{A}_u^2} \cdot \sum_{h=1}^L \frac{w_h^2}{n_h \cdot (n_h - 1)} \left\{ \sum_{i=1}^{n_{hu}} (x_{hui} - \bar{x}_{hu})^2 + n_{hu} \cdot \left(1 - \frac{n_{hu}}{n_h}\right) (\bar{x}_{hu} - \bar{x}_u)^2 \right\} \quad (20)$$

$\hat{A}_u$  = geschatte relatieve aantal profielen behorend tot bodemgebruikseenheid u in (deel)gebied

$n_{hu}$  = aantal steekproefprofielen in stratum h en bodemgebruikseenheid u

$x_{hui}$  = waarde van variabele x van het i-de steekproefprofiel in stratum h en bodemgebruikseenheid u

$\bar{x}_{hu}$  = steekproefgemiddelde van x in stratum h en bodemgebruikseenheid u

Het percentage fosfaatverzadigd oppervlak van bodemgebruikseenheid u is geschat door eerst het verzadigd oppervlak van bodemgebruikseenheid u te schatten en vervolgens het totale oppervlak van bodemgebruikseenheid u. De verhouding van deze twee grootheden vermenigvuldigd met 100, is een schatting van het percentage fosfaatverzadigd oppervlak van bodemgebruikseenheid u. Evenals bij de voorgaande schattingen zijn deze grootheden eerst per stratum geschat en daarna gesommeerd over de strata.

Als schatter voor het verzadigd oppervlak van bodemgebruikseenheid u binnen stratum h gebruiken we de verhouding van het aantal verzadigde punten binnen stratum h, behorend tot bodemgebruikseenheid u en het totaal aantal punten binnen stratum h, vermenigvuldigd met het oppervlak van stratum h.

Als schatter voor het totale oppervlak van bodemgebruikseenheid u binnen stratum h gebruiken we de verhouding van het aantal punten (verzadigd + onverzadigd) behorend tot bodemgebruikseenheid u en het totaal aantal punten binnen stratum h, vermenigvuldigd met het oppervlak van stratum h.

$$\bar{x}_u = \frac{\sum_{h=1}^L \frac{x_{hu}}{n_h} \cdot A_h}{\sum_{h=1}^L \frac{n_{hu}}{n_h} \cdot A_h} \quad (21)$$

$x_{hu}$  = aantal verzadigde steekproefprofielen in stratum h en bodemgebruikseenheid u

$n_{hu}$  = aantal steekproefprofielen in stratum h en bodemgebruikseenheid u

$n_h$  = aantal steekproefprofielen in stratum h

De variantie van het percentage fosfaatverzadigd oppervlak van bodemgebruikseenheid u is berekend met formule (20).

## AANHANGSEL 5

## Bepaling van de dichtheid met behulp van de steekboor

## 1 Overzicht van de bemonsterde bodemeenheden

Profielnummer	Bodemeenheid	Horizonten
1	zEZ21	1Aap, 1Aa, 2Aa, B, 1Ce
2	Hn21F	A/B/C1, B/C, C
3	fpZg23	1Aapg, ACg, Cgc
4	Y21	A/E, Bws, C
5	Hd21F	A/E, Bhs, C
6	chN21	Aa, Aap, Bhe

## 2 Relatie tussen de dichtheid en het gewicht van de monsters

$$D_i = \frac{0,1589 * G}{D} + 0,526 \quad v^2 = 79\%$$

$D_i$  : dichtheid ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

$G$  : gewicht van de bemonsterde laag (g)

$D$  : dikte van de bemonsterde laag (cm)

## AANHANGSEL 6

## WOORDENLIJST

Rapport en kaarten bevatten termen die wellicht enige toelichting behoeven. In deze lijst, die een alfabetische volgorde heeft, vindt u de gebruikte termen verklaard of gedefinieerd. Omdat de meeste verklaringen of definities berusten op De Bakker en Schelling (1966), zijn tussen [ ] de nummers van de bladzijden vermeld waarop in genoemde publikatie veelal dieper op de betekenis van een term wordt ingegaan.

A-horizont: bovengrond van mineraal of moerig materiaal, aan het oppervlak ontstaan, relatief donker gekleurd; de organische stof is geheel of gedeeltelijk biologisch omgezet. [62].

B-horizont: I inspoelingshorizont; een horizont waaraan door inspoeling uit een hoger liggende horizont stoffen (humus, humus + sesquioxiden, lutum of lutum + sesquioxiden) zijn toegevoegd [62, 72-77];

bodemprofiel (kortweg profiel): verticale doorsnede van de bodem, die de opeenvolging van de horizonten laat zien; in de praktijk van het Staring Centrum meestal tot 120, 150 en in boswachterijen tot 180 cm beneden maaiveld.

bodemvorming: verandering van moedermateriaal onder invloed van uitwendige factoren, waarbij horizonten ontstaan.

bruine minerale eerdlaag: minerale eerdlaag waarin binnen 25 cm diepte een laag van ten minste 10 cm dikte begint die bruin is [68].

C-horizont: minerale of moerige horizont die weinig of niet is veranderd door bodemvorming, waarbij een O-, A-, E- of B-horizont wordt gevormd. Doorgaans zijn de bovenliggende horizonten uit soortgelijk materiaal ontstaan [63].

eerdgronden: minerale gronden met een minerale eerdlaag. xxx?  
Als de A-horizont dunner is dan 50 cm, mag er geen duidelijke podzol-B-horizont voorkomen. Als de A-horizont dunner is dan 80 cm, mag er geen briklaag voorkomen.

E-horizont: uitspoelingshorizont; minerale horizont die lichter van kleur en meestal ook lager in lutum- of humusgehalte is dan de boven- en/of onderliggende horizont. Verarmd door verticale (soms laterale) uitspoeling [62].

GHG (gemiddeld hoogste wintergrondwaterstand): het gemiddelde van de HG3 over ongeveer acht jaar. Komt overeen met de waarde voor de grondwaterstand, afgelezen bij de top van de gemiddelde grondwaterstandscurve.

GLG (gemiddeld laagste zomergrondwaterstand): het gemiddelde van de LG3 over ongeveer acht jaar. Komt overeen met de waarde voor de grondwaterstand, afgelezen bij het dal van de gemiddelde grondwaterstandscurve.

grondwater: water dat zich beneden de grondwaterspiegel bevindt en alle holten en poriën in de grond vult.

grondwaterspiegel (= freatisch vlak): denkbeeldig vlak waarop de druk in het grondwater gelijk is aan de atmosferische, en waarbeneden de druk in het grondwater neerwaarts toeneemt. De "bovenkant" van het grondwater.

grondwaterstand (= freatisch niveau): diepte waarop zich de grondwaterspiegel bevindt, uitgedrukt in m of cm beneden maaiveld (of een ander vergelijkingsvlak, bijv. NAP).

grondwatertrap (Gt): klasse gedefinieerd door een zeker GHG-en/of GLG-traject.

horizont: laag in de grond met kenmerken en eigenschappen die verschillen van de erboven en/of eronder liggende lagen; in het algemeen ligt een horizont min of meer evenwijdig aan het maaiveld.

humus, -gehalte, -klasse: korthedshalve krijgt het woord humus vaak de voorkeur, terwijl organische stof (een ruimer begrip) wordt bedoeld. Zie ook: organische stof.

hydromorfe kenmerken: (1) Voor de podzolgronden: (a) een moerige bovengrond of: (b) een moerige tussenlaag en/of: (c) geen ijzerhuidjes op de zandkorrels onmiddellijk onder de Bh, Bhe, Bhs of Bws. (2) Voor de eerdgronden en de vaaggronden: (a) een C-horizont binnen 80 cm diepte beginnend en/of: (b) een niet-gerijpte ondergrond en/of: (c) een moerige bovengrond en/of: (d) een moerige laag binnen 80 cm diepte beginnend; (e) bij zandgronden met een A dunner dan 50 cm: geen ijzerhuidjes op de zandkorrels onder de A-horizont; (f) bij kleigronden met een A dunner dan 50 cm: roest- of reductievlekken beginnend binnen 50 cm diepte [79].

klei: mineraal materiaal dat ten minste 8% lutum bevat. Zie ook: textuurklasse.

kleigronden: minerale gronden (zonder moerige bovengrond of moerige tussenlaag) waarvan het minerale deel tussen 0 en 80 cm diepte voor meer dan de helft van de dikte uit klei bestaat. Indien een dikke A voorkomt, moet deze gemiddeld zwaarder zijn dan de textuurklasse zand [83].

leem: 1 mineraal materiaal dat ten minste 50% leemfractie bevat; 2 kortweg gebruikt voor leemfractie.

leemfractie: minerale delen kleiner dan 50  $\mu\text{m}$ . Wordt in de praktijk vrijwel uitsluitend gebezigd bij lutumarm materiaal [53 en 57]. Zie ook: textuurklasse.

lutum: kortweg gebruikt voor lutumfractie.

lutumfractie: minerale delen kleiner dan 2  $\mu\text{m}$  [52]. Zie ook: textuurklasse.

mineraal materiaal: grond met een organische-stofgehalte van minder dan 15% (bij 0% lutum) tot 30% (bij 70% lutum).

minerale eerdlaag: (1) A-horizont van ten minste 15 cm dikte, die uit mineraal materiaal bestaat dat (a) humusrijk is of (b) matig humusarm of humeus, maar dan tevens aan bepaalde kleureisen voldoet. (2) dikke A-horizont van mineraal materiaal.

minerale gronden: gronden die tussen 0 en 80 cm diepte voor meer dan de helft van de dikte uit mineraal materiaal bestaan.

M50 (eigenlijk M50-2000): mediaan van de zandfractie. Het getal dat die korrelgrootte aangeeft waarboven en waarbeneden de helft van de massa van de zandfractie ligt [58]. Zie ook: textuurklasse.

organische stof: al het levende en dode materiaal in de grond dat van organische herkomst is. Hoofdzakelijk van plantaardige oorsprong en varie"rend van levend materiaal (wortels) tot planteresten in allerlei stadia van afbraak en omzetting. Het min of meer volledig omgezette produkt is humus.

podzol-B: B-horizont in minerale gronden, waarvan het ingespoelde deel vrijwel uitsluitend uit amorfe humus, uit amorfe humus en sesquioxyden, of uit sesquioxyden alleen bestaat [72].

podzolgronden: minerale gronden met een duidelijke podzol-B-horizont en een A-horizont dunner dan 50 cm [100].

roestvlekken: door de aanwezigheid van bepaalde ijzerverbindingen bruin tot rood gekleurde vlekken.



textuur: korrelgroottesamenstelling van de grondsoorten; zie ook: textuurklasse [52-59].

vaaggronden: minerale gronden zonder duidelijke podzol-B-horizont, zonder briklaag en zonder minerale eerdlaag.

veengronden: gronden die tussen 0 en 80 cm - mv. voor meer dan de helft van de dikte uit moerig materiaal bestaan.

zand: mineraal materiaal dat minder dan 8% lutumfractie en minder dan 50% leemfractie bevat.

zandfractie: minerale delen met een korrelgrootte van 50 tot 2000  $\mu\text{m}$ . Zie ook: textuurklasse.

zandgronden: minerale gronden (zonder moerige bovengrond of moerige tussenlaag) waarvan het minerale deel tussen 0 en 80 cm diepte voor meer dan de helft van de dikte uit zand bestaat. Indien een dikke A-horizont voorkomt, moet deze gemiddeld uit zand bestaan [83].

zwarte minerale eerdlaag: minerale eerdlaag, die niet aan de criteria voor de bruine voldoet [68].