

32/446 (241) 2^e ex

**Rekenmodel voor de fosfaatverzadigingstoestand van
mestoverschotgebieden**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**J.G.A. Reijerink
A. Breeuwsma
H.H. Luesink (LEI-DLO)
H. Kleijer**

Rapport 241

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993



- 9 SEP. 1993

Uzn 581073*

REFERAAT

Reijerink, J.G.A., A. Breeuwsma, H.H. Luesink en H. Kleijer, 1993. *Rekenmodel voor de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 241, 110 blz.; 11 fig.; 59 tab.; 49 ref.; 5 aanh.

Om de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden in kaart te brengen, is een rekenmodel ontwikkeld. De invoer van het model bestaat uit het fosfaatbindend vermogen, afgeleid van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, de fosfaatbelasting van vijf gewasgroepen, zoals gras- en maïsland, voor gebieden (cellen) van 2,5 x 2,5 km en de bodemgebruikskaart (Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland). Het model berekent per deelgebied de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatverzadigde oppervlakte. De gegevens zijn met een geografisch informatiesysteem (ARC/INFO) verwerkt. De resultaten kunnen op verschillende schaalniveaus in kaart worden gebracht, zoals per cel van 2,5 x 2,5 km, afwateringseenheid, gemeente, landbouwgebied, e.d.

Trefwoorden: fosfaatverzadigde gronden, fosfaatverzadigingsgraad, rekenmodel, geografisch informatiesysteem, ARC/INFO

ISSN 0927-4499

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

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

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

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

Project 7131

[Lie/06-93]

INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	11
SAMENVATTING	13
1 INLEIDING	17
2 MODELBESCHRIJVING	19
2.1 Invoergegevens	19
2.2 Berekening van de fosfaatverzadiging van deelgebieden	20
2.3 Berekening van de fosfaatverzadiging van cellen en afwateringseenheden	23
3 FOSFAATBINDEND VERMOGEN EN NATUURLIJK FOSFAATGEHALTE	27
3.1 Fosfaatbindend vermogen	27
3.2 Natuurlijk fosfaatgehalte	35
3.3 Kwetsbaarheid van de bodem voor fosfaatverzadiging	37
4 FOSFAATBELASTING VAN DE BODEM	41
4.1 Aanvoer via dierlijke mest vóór 1970	41
4.2 Aanvoer via dierlijke mest na 1970	44
4.2.1 Rekenmethode	45
4.2.2 Aggregatie van bedrijfsgegevens	48
4.2.3 Afstemming van de modelparameters op basis van mesttransporten	49
4.2.4 Uitkomsten	51
4.3 Aanvoer via kunstmest	53
4.4 Afvoer via gewas	55
4.5 Berekening van de fosfaatoverschotten	58
5 ACTUALISERING VAN DE GRONDWATERSTAND-GEGEVENS	63
5.1 Inleiding	63
5.2 GHG-gegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem	65
5.3 Grondwaterstandgegevens van IGG-TNO buizen	67
5.3.1 Selectie van grondwaterstandbuizen	67
5.3.2 GHG	69
5.3.3 Veldcontrole	71
5.4 Gegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden	72
5.4.1 Werkwijze	72
5.4.2 Resultaten	73
5.5 Evaluatie	74
6 TOETSING VAN DE MODELBEREKENINGEN MET MEET-GEGEVENS	77
6.1 Meetgegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden	77

	blz.
6.2 Meetgegevens van twee gebieden uit Overijssel	82
6.3 Conclusies	87
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	89
LITERATUUR	91
AANHANGSELS	
1 Fosfaatkunstmestgebruik op gemengde bedrijven in de boekjaren 1950/1951, 1955/1956 en 1960/1961	95
2 Fosfaatkunstmestgebruik in de zandgebieden op de grotere landbouw-bedrijven, per bedrijfstype, boekjaren 1965/1966 t/m 1985/1986	97
3 Data van afsluiting van de veldwerkzaamheden van de bodem-kartering en eindrapportage, aantal grondwaterstandbuizen van IGG-TNO en de onderscheiden grondwatertrappen per kaartblad van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000	99
4 Beoordelingsformulier voor de grondwaterstandbuizen van IGG-TNO	101
5 Beoordeling van de grondwaterstandbuizen van IGG-TNO	103
5.1 Buizen met een betrouwbare fluctuatie en representatief voor het kaartvlak op de bodemkaart	103
5.2 Goede buizen t.o.v. het kaartvlak dat ze vertegenwoordigen maar het meetpunt t.o.v. maaiveld wijkt meer dan 5 cm af	104
5.3 Buizen met een betrouwbare fluctuatie en redelijk representatief voor het kaartvlak op de bodemkaart; ze liggen wat gunstig (droger) t.o.v. het kaartvlak	105
5.4 Goede buizen die te hoog liggen t.o.v. het kaartvlak dat ze vertegenwoordigen; ze liggen zeer duidelijk hoger (droger) in het kaartvlak	106
5.5 Buizen die in de berm van wegen aan een sloot of kanaal staan en daarom geen vertegenwoordiger zijn voor de fluctuatie van het grondwater in het betreffende gebied	107
5.6 Coördinaten wijken af van de opgegeven coördinaten	109
5.7 Overige buizen	110
FIGUREN	
1 Schema van het model met rekenvoorbeeld	21
2 Frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad met een gemiddelde waarde kleiner dan 25% en groter dan 25%	23
3 Fosfaatverzadigingscurve van cel ₁	25
4 Bepaling van de fosfaatverzadigde oppervlakte en de fosfaat-verzadigingsgraad met de fosfaatverzadigingscurve	25
5 Fosfaatverzadigingsgraad als functie van het fosfaatoverschot voor de belangrijkste bodemeenheden op grondwatertrap III/III*, V/V*, VI en VII/VII*	38
6 Fosfaatproduktie van de veestapel en het fosfaatkunstmestgebruik in de periode 1910-1990	42

7	Gemeten en berekend fosfaatbindend vermogen van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 en pZg23	79
8	Gemeten en berekende fosfaatgehalte van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 en pZg23	80
9	Gemeten en berekende fosfaatverzadigingsgraad van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 en pZg23	81
10	Ligging van de twee studiegebieden in Overijssel	83
11	Gemeten en berekende fosfaatverzadigingscurve voor Bentelo en Mander-Vasse-Ootmarsum	86

TABELLEN

1	GIS-bestanden als basismateriaal in het rekenmodel	19
2	Beschrijvende invoergegevens van het rekenmodel, met als voorbeeld drie kaarteenheden en vier rastercellen	20
3	Berekening van de fosfaatverzadigingscurve (voorbeeld)	24
4	Oppervlakten van bodemeenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, die in het zandgebied onder landbouwgrond voorkomen	29
5	Toevoegingen aan de legenda-code van bodemeenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, die van belang zijn voor het fosfaatbindend vermogen	30
6	Oppervlakte bodemeenheden onder cultuurgrond met toevoeging k, f, fk, x of t	30
7	Oxalaatextraheerbare ijzer- plus aluminiumgehalten van de belangrijkste bodemeenheden	31
8	Dichtheid van de belangrijkste bodemeenheden	32
9	Totale fosfaatbindend vermogen tot aan de GHG van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen	33
10	Percentielwaarden van de frequentieverdeling van het fosfaatbindend vermogen	34
11	Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte in A-horizonten van de meest voorkomende bodemeenheden	36
12	Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte van de bovengrond en ondergrond van de meest voorkomende bodemeenheden	36
13	Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte in de bodemlaag tot aan de GHG van de meest voorkomende bodemeenheden en grondwatertrappen	37
14	Referentiewaarde voor fosfaatverzadigingsgraad van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen	37
15	Fosfaatproduktie van de gehele veestapel in de landbouwgebieden van het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied in de periode 1950-1970	43
16	Fosfaatbelasting van grasland door rundvee in de weideperiode	44
17	Fosfaatproduktie van de veestapel en de fosfaatbelasting door dierlijke mest van gras- en bouwland in het Zandgebied in de periode 1950-1970	44
18	Mest- en fosfaatproduktie per mesteenheid per jaar	46

19	Maximale bemestingsniveaus per bemestingsronde	46
20	Gewasvolgorde voor de toediening van dierlijke mest	47
21	Toewijzingsvolgorde van mestsoorten	47
22	Acceptatiegraden en maximaal aangevoerde hoeveelheden mest op bedrijven met plaatsingsruimte binnen de cel	49
23	Gemeten en berekende mesttransporten vanuit de Westelijke Veluwe en Noord-Brabant	50
24	Gemeten en berekende mesttransport in Nederland in 1985/1986	51
25	Gemiddeld bemestingsniveau in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied (modelberekeningen met MESTOP met Landbouwtellingsgegevens van 1985)	51
26	Gewasoppervlakten in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied, uitgesplitst naar bedrijfstype	52
27	Maximale bemestingsniveaus met gewasoppervlakten	52
28	Gemiddelde fosfaatkunstmestgebruik in het zandgebied, periode 1950/1951-1985/1986	54
29	Fosfaatonttrekking van bouwlandgewassen in de periode 1950-1990	55
30	Procentuele oppervlakteverdeling, de fosfaatonttrekking van de belangrijkste bouwlandgewassen in het zandgebied en de oppervlakte gewogen gemiddelde fosfaatonttrekking in 1950, 1960 en 1970	56
31	Fosfaatonttrekking van bouwlandgewassen na 1970	56
32	Fosfaatonttrekkingsnormen voor grasland bij verschillende gebruikssystemen (1950)	57
33	Fosfaatonttrekking van grasland bij verschillende gebruikssystemen, bij een stikstofgift van 400 kg/ha N en 3 à 3,5 g.v.e./ha	57
34	Geschatte fosfaatonttrekking van grasland in de periode 1950-1990	57
35	Gemiddelde fosfaatbalans van bouwland en grasland in de periode 1950-1970	58
36	Gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad in 1970 van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen	59
37	Gemiddelde fosfaatbalans per gewasgroep in de periode 1970-1990	60
38	Gemiddeld fosfaatoverschot in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied in de periode 1950-1990	61
39	Gemiddelde percentielwaarden van de frequentieverdelingen op celniveau van het fosfaatoverschot van gras- en maïsland	62
40	Grondwatertrappenindeling op de bodemkaart, schaal 1 : 50 000 met de gemiddelde waarden voor de GHG	63
41	Mediaanwaarde van de GHG berekend met gegevens uit het BIS in vergelijking met de ABN-waarde en het verschil tussen beide, per grondwatertrap	66
42	Selectiecriteria grondwaterstandbuizen IGG-TNO	67
43	Grenswaarden voor de GHG waarboven de GHG niet acceptabel is geacht	68
44	Ligging van de grondwaterstandbuizen met extreme GHG-waarden	68

45	Mediaanwaarden van de GHG in 1990, afgeleid uit meetgegevens van de IGG-TNO grondwaterstandbuizen, de ABN-waarde en het verschil tussen beide, per grondwatertrap	69
46	Mediaanwaarden van de GHG in 1990, afgeleid uit de meetgegevens van de kroonstambuizen, van alle buizen en het verschil tussen beide	70
47	Mediaanwaarden van de GHG bij de afsluiting van de veldopname van de kroonstambuizen op de kaartbladen uit de periode 1980-1990	71
48	Beoordeling van de IGG-TNO-buizen op de geschiktheid voor de bepaling van de GHG van het Gt-vlak op de bodemkaart	72
49	Mediaanwaarden van de GHG van kaarteenheden uit de Landelijk Steekproef Kaarteenheden	73
50	Evaluatie van de onderzochte alternatieven voor de actualisering van de GHG	74
51	Gehanteerde GHG in Reijerink en Breeuwsma (1992)	75
52	Oppervlakten van pZg21 en pZg23 op Gt III/III* en het aantal steekproefpunten per bodemgebruiksvorm dat tijdens de Landelijke Steekproef Kaarteenheden bemonsterd is	77
53	Bodemeenheid van de bemonsterde steekproefpunten van de kaarteenheden pZg21 en pZg23 in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied	78
54	Fosfaatoverschot bij maïsland, grasland, overig bouwland en het totale landbouwareaal op kaarteenheid pZg21 en pZg23 op grondwatertrap III/III*	79
55	Fosfaatgehalte en fosfaatverzadigingsgraad in de bodemlaag 0-34 cm - mv. van maïsland, grasland en het totale landbouwareaal op lemige beekerdgronden op grondwatertrap III/III*	81
56	Vergelijking van gemeten en berekende waarden van het fosfaatbindend vermogen in Bentelo-Beckum, voor enkele combinaties van groepen van bodemeenheden en grondwatertrappen	84
57	Vergelijking van gemeten en berekende waarden van het fosfaatbindend vermogen in Mander-Vasse-Ootmarsum, voor enkele combinaties van groepen van bodemeenheden en grondwatertrappen	84
58	Vergelijking van de gemeten en berekende fosfaatgehalten tot aan de GHG in Beckum-Bentelo en Mander-Vasse-Ootmarsum	85
59	Gemeten en berekende fosfaatgehalten in de laag 0-50 cm - mv. bij maïs- en grasland op veldpodzolgrond	85

WOORD VOORAF

Dit rapport bevat de achtergronddocumentatie die gebruikt is bij de berekening van de fosfaatverzadigingstoestand van de mestoverschotgebieden (Reijerink en Breeuwsma, 1992). Het onderzoek werd uitgevoerd door DLO-Staring Centrum en DLO-Landbouw Economisch Instituut in de periode 1990-1992 in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM). Het gehanteerde rekenmodel voor de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden is ontwikkeld naar aanleiding van het (oorspronkelijke) beleidsvoornemen in het kader van de mestwetgeving om fosfaatgevoelige gebieden aan te wijzen.

De auteurs zijn dank verschuldigd aan R. Schuiling en H. de Wijer voor hun aandeel in de gegevensverwerking met ARC/INFO en R. Visschers voor zijn medewerking bij het verzamelen van grondwaterstandsgegevens en het beschikbaar stellen van meetgegevens voor de toetsing van de modeluitkomsten.

SAMENVATTING

In dit rapport wordt een rekenmodel en de daarbij gebruikte gegevens beschreven voor de berekening van de fosfaatverzadigingstoestand in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied. Het onderzoek werd uitgevoerd door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) en DLO-Landbouw Economisch Instituut (LEI-DLO) in de periode 1990-1992 in opdracht van de ministeries van LNV en VROM. SC-DLO heeft het rekenmodel ontwikkeld, LEI-DLO heeft de fosfaatbelasting via dierlijke mest na 1970 berekend.

De fosfaatverzadigingstoestand wordt gekarakteriseerd door de fosfaatverzadigingsgraad (niveau van de fosfaatverzadiging) en de fosfaatverzadigde oppervlakte. De fosfaatverzadigingsgraad van de bodem hangt af van de hoeveelheid fosfaat die in de bodem is terechtgekomen en van de hoeveelheid fosfaat die door de bodem gebonden kan worden (fosfaatbindend vermogen). Als de fosfaatverzadigingsgraad tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand groter is dan 25%, wordt gesproken over een fosfaatverzadigde grond omdat de uitspoeling dan hoger is dan in een onbelaste situatie.

De *gegevensverwerking* in het model is uitgevoerd met een geografisch informatie systeem (ARC/INFO). Bij de invoer van het rekenmodel wordt onderscheid gemaakt tussen beschrijvende en geografische gegevens. De beschrijvende gegevens bestaan uit het fosfaatbindend vermogen en het natuurlijk fosfaatgehalte die per kaarteenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, zijn berekend, en de fosfaatbelasting die per gewasgroep voor rastercellen van 2,5 x 2,5 km is berekend. De geografische gegevens bestaan uit de digitale Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, een rastercellen bestand dat zelf is aangemaakt, de LGN-bodemgebruikskaart (Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland) met het bodemgebruik per "pixel" van 25 x 25 m, en het Basisbestand Ruimtelijke Structuren (BARS) voor de begrenzing van de landbouwgebieden ten opzichte van de overige vormen van bodemgebruik (bebouwing, natuur e.d.).

Voor het berekenen van de *fosfaatverzadigingsgraad* zijn de kaart met het fosfaatbindend vermogen en de rastercellenkaart met de fosfaatbelasting over elkaar heen gelegd. Hierbij ontstaan deelgebieden die worden begrensd door cel, bodem en grondwatertrapgrenzen. De fosfaatverzadigingsgraad wordt per deelgebied, per gewasgroep berekend met:

$$FVG = \frac{P_{nat.} + P_{bel.}}{FBV} \times 100\%$$

waarin:

FVG = fosfaatverzadigingsgraad (%);

$P_{nat.}$ = natuurlijk fosfaatgehalte (kg P_2O_5 per ha);

$P_{bel.}$ = netto fosfaatbelasting (kg P_2O_5 per ha).

De *fosfaatverzadigde oppervlakte* per deelgebied wordt berekend door de oppervlaktepercentages van de gewasgroepen waarvan de fosfaatverzadigingsgraad groter is dan 25%, te sommeren. De uitkomsten van de deelgebieden kunnen tot verschillende aggregatieniveaus (cellen, stroomgebieden, gemeenten e.d.) worden geaggregeerd en in kaart gebracht.

Het *fosfaatbindend vermogen* van zandgronden is afhankelijk van het ijzer- en aluminiumgehalte en kan daardoor per bodemeenheid verschillen. De landbouwgronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied bestaan overwegend uit (kalkloze) zandgronden (87%), waarvan het belangrijkste deel uit veldpodzolgronden (25%), zwarte enkeerdgronden (15%) en beekeerdgronden (14%) bestaat. Met meetgegevens over het ijzer- en aluminiumgehalte uit het Bodemkundig Informatie Systeem van DLO-Staring Centrum, is van elke bodemeenheid op de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, een "gemiddeld" profiel berekend waarmee vervolgens het fosfaatbindend vermogen is berekend. Behalve het ijzer- en aluminiumgehalte, is ook de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van belang. Deze is gerelateerd aan de grondwatertrap (Gt) en bepaalt de dikte van de fosfaatbindende laag. Het totaal fosfaatbindend vermogen van de meest voorkomende bodemeenheden varieert van ca. 10 000 kg P_2O_5 (veldpodzolgrond op Gt III/III*) tot ca. 50 000 kg P_2O_5 per ha (zwarte enkeerdgrond op Gt VII*).

Een deel van het fosfaatbindend vermogen is verbruikt door fosfaat dat door natuurlijke of menselijke oorzaak vóór de periode met mestoverschotten in de bodem aanwezig was. Deze hoeveelheid wordt aangegeven met het "natuurlijk" fosfaatgehalte of *achtergrondgehalte*. Het natuurlijk fosfaatgehalte van de bodemeenheden is geschat met meetgegevens van het totaal-fosfaatgehalte uit het BIS en met literatuurgegevens. Vanwege de schaarse meetgegevens was een schematisatie noodzakelijk, waarbij de natuurlijke fosfaatgehalten van horizonten zijn geschat. Het natuurlijk fosfaatgehalte van de bodemlaag tot aan de GHG varieert van ca. 800 kg P_2O_5 per ha (vlakvaaggrond op Gt V/V*) tot ca. 10 000 kg P_2O_5 per ha (zwarte enkeerdgrond op Gt VII*). Het hoge fosfaatgehalte bij de zwarte enkeerdgronden is het gevolg van eeuwenlange potstalbemesting.

Aan de hand van de hoeveelheid fosfaat (fosfaatoverschot) die nog aan de bodem kan worden toegevoegd vóór verzadiging, is de *kwetsbaarheid voor fosfaatverzadiging* bepaald. Afgezien van de enkeerdgronden die door de potstalbemesting reeds verzadigd zijn, komen de meest kwetsbare gronden op de natte grondwatertrappen voor (Gt III/III* en V/V*). Gronden met grondwatertrap III/III* (voornamelijk beekeerdgronden), zijn het meest kwetsbaar: reeds bij een fosfaatoverschot van ca. 1200 kg P_2O_5 per ha treedt fosfaatverzadiging op. De droge veldpodzolgronden met grondwatertrap VII of VII* zijn het minst gevoelig: hier treedt pas verzadiging op als het fosfaatoverschot groter is dan 4000-5000 kg P_2O_5 per ha.

Vóór 1950 is de fosfaatophoping bij gebrek aan betrouwbare gegevens verwaarloosd. De *fosfaatbelasting* tussen 1950 en 1970 is geschat met literatuurgegevens. De fosfaatbelasting via dierlijke mest is geschat met CBS-gegevens over de fosfaatproduktie van de veestapel, en de fosfaatbelasting via kunstmest met gegevens van boekhoudbedrijven van het LEI. In de periode na 1970 is fosfaat in het Oostelijk,

Centraal en Zuidelijk zandgebied grotendeels met dierlijk mest aangevoerd. De fosfaatbelasting in die periode is met het model MESTOP op bedrijfsniveau berekend en verwerkt voor gebieden (cellen) van 2,5 x 2,5 km. Het model gebruikt de jaarlijkse gegevens van de Landbouwtelling over de samenstelling van de veestapel en de oppervlakte landbouwgewassen. Met een toewijzingsschema worden de mestsoorten verdeeld over de landbouwgewassen. Hierbij worden vijf gewasgroepen (gras, maïs, hakvruchten, granen en overige landbouwgewassen) onderscheiden. De verdeling van dierlijke mest over de gewassen vindt in drie bemestingsronden plaats. Hierbij is per bemestingsronde een maximaal bemestingsniveau gehanteerd, dat per gewasgroep varieert. Bij het vaststellen van de maximale bemestingsniveaus is in de eerste ronde uitgegaan van landbouwkundige normen, terwijl met de tweede en derde bemestingsronde, waarin hogere maximale normen zijn gehanteerd, de mogelijkheid wordt gecreëerd om in overschotsituaties extra mest op het eigen bedrijf af te zetten. Verder is in het model rekening gehouden met mesttransporten van overschot- naar tekortbedrijven binnen dezelfde cel. De hoeveelheid mest die daarna eventueel overblijft wordt verondersteld buiten de mestoverschotgebieden te zijn afgezet. Aan de hand van uitkomsten van drie enquêtes zijn de acceptatiegraad, het percentage van de plaatsingsruimte dat met mest van andere bedrijven wordt opgevuld, en andere modelparameters zodanig ingesteld dat de berekende mestoverschotten globaal overeenkomen met de hoeveelheden die getransporteerd zijn.

Het gemiddelde *totale fosfaatoverschot* (= fosfaatbelasting - gewasonttrekking) in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied is bij grasland ca. 2900 kg P_2O_5 per ha en bij maïsland ca. 7000 kg P_2O_5 per ha. Bij de overige landbouwgewassen (ca. 10% van het landbouwareaal) varieert het overschot tussen 2700 en 3100 kg P_2O_5 per ha. Een deel van het overschot (ca. 1000 kg P_2O_5 per ha) is reeds vóór de opkomst van de intensieve veehouderij ontstaan.

In de definitie van een fosfaatverzadigde grond heeft de fosfaatverzadigingsgraad betrekking op de bodemlaag tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). De GHG varieert met de grondwatertrap, die op de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, is aangegeven. Sinds de opname van de bodemkaart is de GHG in sommige gebieden gewijzigd door peilverlaging als gevolg van ruilverkavelingen of waterschapswerken, waardoor de huidige GHG vaak lager is. In verband hiermee is besloten om de GHG-gegevens te actualiseren. Hiervoor zijn in eerste instantie de meetgegevens van grondwaterstandbuizen van IGG-TNO onderzocht. De GHG van een groot deel van de buizen stemt niet overeen met de GHG van het kaartvlak van de bodemkaart waarin de buis is gelegen. Bij veldcontrole van de buizen op Gt V/V* bleek dat slechts 21% van de onderzochte buizen geschikt is voor een betrouwbare bepaling van de GHG. De mediaanwaarde van deze buizen is gebruikt in de modelberekeningen. Behalve via de IGG-TNO grondwaterstandbuizen, kwamen ook via de Landelijke Steekproef Kaarteenheden actuele GHG-gegevens beschikbaar. De bruikbaarheid van deze gegevens is echter nog beperkt vanwege het kleine aantal kaarteenheden dat tot nog toe is onderzocht. In de modelberekeningen zijn de gegevens van Gt III/III* en VI gebruikt. Vanwege het ontbreken van betere gegevens, zijn bij Gt II/II*, IV en VII/VII* de BIS-gegevens gebruikt. Deze gegevens, die hoofdzakelijk van boorstaten afkomstig zijn, betreffen schattingen van de GHG aan de hand van profiel- en veldkenmerken. Ze hebben als nadeel dat ze voor een deel

niet actueel zijn en dat niet bekend is in hoeverre ze representatief zijn voor het zandgebied.

Uit een *toetsing* van de modelresultaten met meetgegevens uit de genoemde Landelijke Steekproef Kaarteenheden voor beekerdgronden op grondwatertrap III/III* blijkt dat de fosfaatverzadigingsgraad met ca. 10-20% (absoluut) wordt overschat. Deze overschatting is hoofdzakelijk het gevolg van een overschatting van het fosfaatgehalte. Bij de toetsing met meetgegevens uit twee gebieden in Overijssel blijkt dat de fosfaatverzadigde oppervlakte met 8% wordt overschat (Bentelo-Beckum) of met 12% wordt onderschat (Mander-Vasse-Ootmarsum). Verder blijkt in beide gebieden dat het fosfaatgehalte bij maïsland te hoog en bij grasland te laag wordt geschat, waarschijnlijk doordat in het model onvoldoende rekening is gehouden met de afwisseling van gras en maïs op eenzelfde perceel of doordat de verdeling van dierlijke mest over gras- en maïsland niet goed is ingeschat.

Het verdient aanbeveling om meer gegevens te verzamelen over de actuele grondwaterstand, waarmee de betrouwbaarheid van de GHG-waarden verbeterd kan worden. Verder is er behoefte aan meer veldinformatie over verschillen in fosfaatgehalte tussen natte en droge percelen en tussen gras- en maïsland. Hiervoor biedt de Landelijke Steekproef Kaarteenheden goede mogelijkheden.

1 INLEIDING

De aanleiding tot het hier beschreven onderzoek was de behoefte van het (toenmalige) beleid om fosfaatgevoelige gebieden aan te kunnen wijzen (Reijerink en Breeuwsma, 1992). Ter ondersteuning hiervan heeft DLO-Staring Centrum, in opdracht van de ministeries van LNV en VROM, de fosfaatverzadigingstoestand van de mestoverschotgebieden in kaart gebracht op basis van schattingen van het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatbelasting van de bodem. De gegevens over de fosfaatbelasting in de periode na 1970 werden berekend door LEI-DLO. De fosfaatverzadigingstoestand werd gekarakteriseerd met de fosfaatverzadigde oppervlakte en de fosfaatverzadigingsgraad. De schattingen van de fosfaatverzadigde oppervlakte en de fosfaatverzadigingsgraad van de mestoverschotgebieden zijn reeds eerder gerapporteerd (Reijerink en Breeuwsma, 1992). In dit rapport wordt ingegaan op het gebruikte rekenmodel (hoofdstuk 2) en op de verzamelde gegevens over het fosfaatbindend vermogen (hoofdstuk 3), de fosfaatbelasting (hoofdstuk 4) en de grondwaterstand (hoofdstuk 5). Tot slot worden de resultaten vermeld van de toetsing van de modelberekeningen aan meetgegevens (hoofdstuk 6).

2 MODELBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt het rekenmodel beschreven waarmee de fosfaatverzadigings-toestand in kaart is gebracht. Hiervoor is met het programmapakket ARC/INFO een geografisch informatiesysteem (GIS) opgezet. In paragraaf 2.1 komen de invoergegevens aan de orde. In paragraaf 2.2 wordt de berekening van de fosfaatverzadiging van deelgebieden besproken en in paragraaf 2.3 wordt ingegaan op de verwerking van de modeluitkomsten tot fosfaatverzadigingskaarten.

2.1 Invoergegevens

Bij een GIS worden beschrijvende gegevens en geografische of ruimtelijke gegevens onderscheiden. De *beschrijvende* gegevens bestaan in dit geval uit het fosfaatbindend vermogen en het natuurlijk fosfaatgehalte, die per kaarteenheden van de bodemkaart schaal 1 : 50 000 zijn berekend (hoofdstuk 3), en de fosfaatbelasting die per bodemgebruiksvorm voor rastercellen van 2,5 x 2,5 km is berekend (hoofdstuk 4).

De bestanden met *geografische* gegevens die in het rekenmodel zijn gebruikt, staan vermeld in tabel 1. Het gebruikte bestand van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, is de digitale versie van de bodemkaart (Steur en Heijink, 1991). Het rastercellenbestand is zelf aangemaakt en bevat de coördinaten, waarmee de fosfaatbelastinggegevens aan de rastercellen zijn gekoppeld. De LGN-bodemgebruikskaart geeft informatie over het bodemgebruik per "pixel" van 25 x 25 m. De gegevens zijn afgeleid van satellietopnamen (LANDSAT-TM en SPOT), waarbij op grond van de verdeling van weerkaatste lichtfrequenties het landgebruik in 16 klassen geclassificeerd is (Thunnissen et al., 1992). In dit onderzoek is een aantal klassen samengevoegd, waarbij het bodemgebruik van de landbouwgronden is onderverdeeld in maïs, gras, granen, hakvruchten en overige landbouwgewassen. Verder is één klasse niet-landbouwgronden (natuur, bebouwing, water e.d.) onderscheiden.

Tabel 1 GIS-bestanden als basismateriaal in het rekenmodel

Naam	Soort gegevens	Bronhouder(s)
Bodemkaart van Nederland Schaal 1 : 50 000	bodemeenheden en grondwatertrappen	DLO-Staring Centrum
Rastercellenbestand	rastercellen van 2,5 x 2,5 km met coördinaten	-
Landelijke Grondgebruiks- databank Nederland (LGN)	landbouwgewassen, bos, woeste grond, open water, bebouwing	DLO-Staring Centrum DHV Raadgevend ingenieursbureau
Basis Bestand Ruimtelijke Structuren (BARS)	bebouwing, bos, woeste grond, open water	Rijks Planologische Dienst

Voor de begrenzing van de landbouwgebieden ten opzichte van de overige bodemgebruiksvormen is in plaats van het LGN-bestand, het BARS-bestand gebruikt omdat de informatie in het LGN-bestand hiervoor te gedetailleerd bleek te zijn. In het BARS-bestand zijn gebieden onderscheiden die relevant zijn voor ruimtelijke planvorming zoals woongebieden, bedrijfsterreinen en natuurterreinen e.d. (Naeff, 1991). De gebieden met landbouw die niet als aparte categorie zijn opgenomen, zijn als restpost bepaald.

2.2 Berekening van de fosfaatverzadiging van deelgebieden

Standaardmethode

Aan de hand van figuur 1 zal de werkwijze die in het rekenmodel is gehanteerd met een rekenvoorbeeld worden toegelicht met vier rastercellen en twee bodemgebruiksvormen (gras en maïs). De gegevens staan vermeld in tabel 2.

Tabel 2 Beschrijvende invoergegevens van het rekenmodel, met als voorbeeld drie kaarteenheden en vier rastercellen

Kaart-eenheid		Fosfaat-bindend-vermogen	Natuurlijk fosfaat-gehalte	Rastercel-nummer	Fosfaatbelasting (kg P ₂ O ₅ per ha)	
be ¹⁾	Gt ²⁾	(kg P ₂ O ₅ per ha)			gras	maïs
Hn21	VI	16 000	1500	1	2000	6000
Hn21	V	13 000	1100	2	3000	5000
pZg21	III	10 000	1200	3	2000	4000
				4	4000	6000

¹⁾be = bodemeenheid

²⁾Gt = grondwatertrap

Het fosfaatbindend vermogen (FBV) en het natuurlijk fosfaatgehalte (P_{nat}) is in kaart gebracht door koppeling met de Bodemkaart, schaal 1 : 50 000 (a). De fosfaatbelasting per rastercel per bodemgebruiksvorm, is in kaart gebracht door koppeling van de gegevens met het rastercellenbestand (b). De fosfaatverzadigingsgraad-kaart is berekend door de FBV-kaart, de P_{nat}-kaart en de P_{bel}-kaart over elkaar heen te leggen. Hierbij ontstaan deelgebieden die worden begrensd door cel-, bodem- en grondwatertrap-grenzen (c). De fosfaatverzadigingsgraad is per deelgebied en per bodemgebruiksvorm als volgt berekend:

$$FVG(bg_i, be_j, gt_k, c_l) = \frac{P_{nat}(be_j, gt_k) + P_{bel}(c_l, bg_i)}{FBV_i(be_j, gt_k)} \times 100\% \quad (1)$$

waarin:

- $FVG(bg_i, be_j, gt_k, c_l)$ = fosfaatverzadigingsgraad van bodemgebruik bg_i op bodemeenheden be_j , grondwatertrap gt_k in cel c_l ;
 $P_{nat.}(be_j, gt_k)$ = natuurlijk fosfaatgehalte van bodemeenheden be_j op grondwatertrap gt_k ;
 $P_{bel.}(c_l, bg_i)$ = netto fosfaatbelasting van bodemgebruik bg_i in cel c_l ;
 $FBV_l(be_j, gt_k)$ = totaal fosfaatbindend vermogen van bodemeenheden be_j op grondwatertrap gt_k .

In figuur 1 zijn de gegevens van cel₁, waarin twee deelgebieden voorkomen: Hn21-VI en pZg21-III, uitgewerkt. Invullen van de gegevens uit tabel 2 in vergelijking (1) levert de volgende fosfaatverzadigingsgraden:

- $FVG(\text{gras, Hn21, VI, cel}_1) = ((1200 + 2000) / 16000) \times 100\% = 22\%$
 $FVG(\text{maïs, Hn21, VI, cel}_1) = ((1200 + 6000) / 16000) \times 100\% = 47\%$
 $FVG(\text{gras, pZg21, III, cel}_1) = ((1200 + 2000) / 10000) \times 100\% = 37\%$
 $FVG(\text{maïs, pZg21, III, cel}_1) = ((1200 + 6000) / 10000) \times 100\% = 72\%$

De oppervlakteverdeling van het bodemgebruik per deelgebied (POPP) is bepaald via een overlay met de LGN-bodemgebruiksk kaart (d). Combinatie van de FVG-kaarten per gewas met de POPP-kaarten levert één kaart met het percentage fosfaatverzadigde oppervlakte (PFVO) (e). Voor de veldpodzolgrond (Hn21-VI) bedraagt het grasareaal 40% en het maïsareaal 60%. Omdat bij deze bodemeenheden alleen maïs verzadigd is ($FVG > 25\%$), is het oppervlaktepercentage dat fosfaatverzadigd is, gelijk aan het maïsareaal (60%). Bij de beekkeerdgrond (pZg21-III) is naast het maïsland ook het grasland fosfaatverzadigd. Bij deze bodemeenheden is het percentage fosfaatverzadigde oppervlakte dus 100%.

Vermenigvuldiging met het landbouwareaal (OPPL), dat per deelgebied via een overlay met het BARS-bestand is afgeleid, geeft de verzadigde oppervlakte in ha:

$$FVO(be_j, gt_k, c_l) = PFVO(be_j, gt_k, c_l) \times OPPL(be_j, gt_k) \quad (2)$$

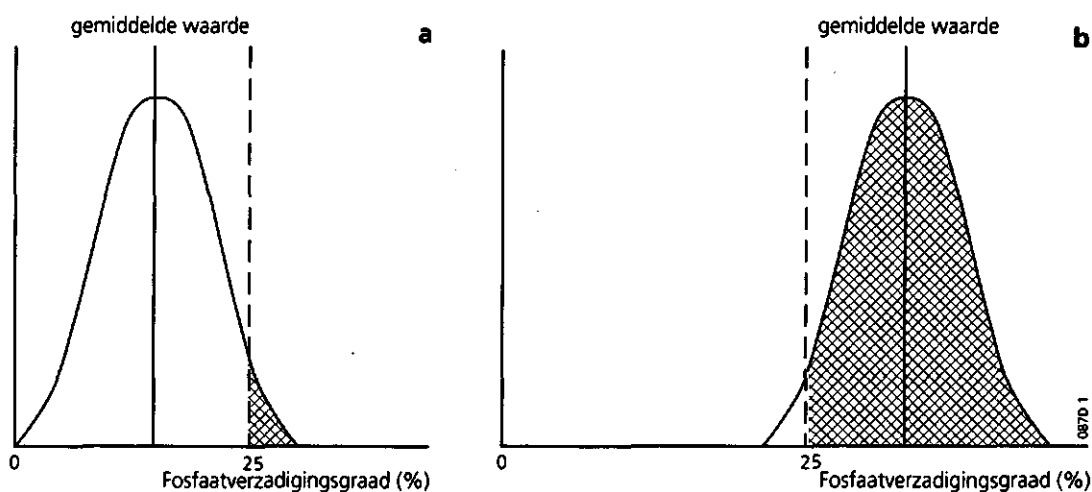
waarin:

- $FVO(be_j, gt_k, c_l)$ = fosfaatverzadigde oppervlakte van bodemeenheden be_j , grondwatertrap gt_k in cel c_l ;
 $PFVO(be_j, gt_k, c_l)$ = percentage fosfaatverzadigde oppervlakte van bodemeenheden be_j , grondwatertrap gt_k in cel c_l ;
 $OPPL(be_j, gt_k, c_l)$ = oppervlakte landbouwgrond op bodemeenheden be_j en grondwatertrap gt_k in cel c_l .

Variant

In één van de rekenvarianten in Reijerink en Breeuwsma (1992) is rekening gehouden met de spreiding in het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatbelasting. In plaats van met gemiddelde waarden is in deze variant met de frequentieverdelingen gerekend. Hierbij zijn voor beide grootheden 10 percentiepunten berekend (zie par. 3.1 en 4.4). Er is vanuit gegaan dat het fosfaatbindend vermogen en de fosfaat-

belasting niet gecorreleerd zijn. De frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad wordt dan bepaald door het quotiënt van twee onafhankelijke verdelingen. Dit levert $10 \times 10 = 100$ percentielpunten op. Om de rekentijd te beperken, is dit aantal tot 30 gereduceerd door bij het fosfaatbindend vermogen, waarvan de verdeling een minder grote spreiding heeft dan de fosfaatbelasting, met 3 in plaats van 10 percentielpunten te rekenen. Het fosfaatverzadigd oppervlaktepercentage is het percentielpunt waarbij de fosfaatverzadigingswaarde van 25% wordt overschreden. Het verschil met het verzadigd oppervlaktepercentage dat met de standaardmethode wordt berekend, wordt bepaald door de positie van de frequentieverdeling ten opzichte van de verzadigingswaarde van 25%. Als de gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad kleiner dan 25% is, geeft de standaardmethode een fosfaatverzadigd oppervlakte van 0%, terwijl de berekening met de frequentieverdeling een fosfaatverzadigd oppervlakte van groter dan 0% geeft (figuur 2a). Bij een gemiddelde waarde groter dan 25% geeft de standaardmethode juist een hoger fosfaatverzadigd oppervlakte (100%) dan de oppervlakte die met de frequentieverdeling wordt berekend (<100%, figuur 2b).



Figuur 2 *Frequentieverdeling van de fosfaatverzadigingsgraad met een gemiddelde waarde kleiner dan 25% (a) en groter dan 25% (b). Het gearceerde deel geeft de fosfaatverzadigde oppervlakte aan.*

2.3 Berekening van de fosfaatverzadiging van cellen en afwateringseenheden

De fosfaatverzadigde oppervlakte kan per deelgebied in kaart worden gebracht. Het beeld dat hierbij ontstaat, is zeer gedetailleerd omdat de oppervlakte van de deelgebieden meestal niet groter is dan enkele tientallen hectares. Het nadeel hierbij is dat daarmee een schijnnaauwkeurigheid wordt geïntroduceerd. In tegenstelling tot het fosfaatbindend vermogen, is de fosfaatbelasting niet gedifferentieerd naar bodemeenheid en Gt. Daarom is besloten om de fosfaatverzadiging niet gedetailleerder in kaart te brengen dan voor cellen van $2,5 \times 2,5$ km. Hiervoor zijn de modeluitkomsten (fosfaatverzadigingsgraad en oppervlakte per bodemgebruiksvorm) van de deelgebieden geaggregeerd, waarbij voor elke cel een fosfaatverzadigingscurve is berekend, die de fosfaatverzadigde oppervlakte als functie van

de fosfaatverzadigingsgraad geeft. Aan de hand van het voorbeeld uit paragraaf 2.2 wordt dit toegelicht in tabel 3. Hierbij is uitgegaan van een oppervlakte landbouwgronden van 625 ha, waarvan 500 ha op Hn21-VI (200 ha gras en 300 ha maïs) en 125 ha op pZg21-III (112,5 ha gras en 12,5 ha maïs) voorkomt. Vermenigvuldiging met het oppervlakte percentage (POPP) per bodemgebruik (kolom 4), levert de (absolute) oppervlakten (kolom 5). Nadat de gegevens zijn gerangschikt naar (oplopende) fosfaatverzadigingsgraad (kolom 6), is de cumulatieve oppervlakte (kolom 7) berekend, waarvoor geldt dat de waarde van de fosfaatverzadigingsgraad uit kolom 6 wordt overschreden. In dit voorbeeld is de cumulatieve oppervlakte met een fosfaatverzadigingsgraad groter dan 25% 425 ha (112,5 + 300 + 12,5). In figuur 3 is de fosfaatverzadigingscurve van de cel uitgezet. In werkelijkheid is het verloop vloeiender omdat er meestal veel meer dan twee bodem/Gt-combinaties in een cel voorkomen.

Tabel 3 Berekening van de fosfaatverzadigingscurve (voorbeeld)

Deelgebieden in cel ₁		Oppervlakte perc. per bodemgebruik		Gegevens van de fosfaatverzadigingscurve		
be ¹⁾	Gt ²⁾	gewas	opp. perc. (%)	opp. (ha)	fv ³⁾ (%)	cum. opp. (ha)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Hn21	VI	gras	40	200	22	425
pZg21	III	gras	90	112,5	37	312,5
Hn21	VI	maïs	60	300	47	12,5
pZg21	III	maïs	10	12,5	72	0

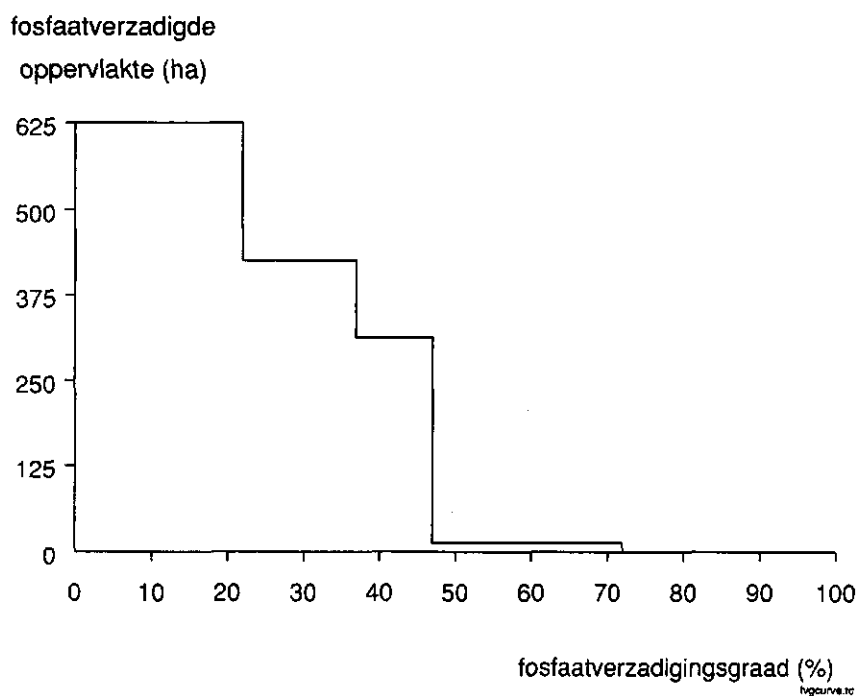
¹⁾ bodemeenheid

²⁾ grondwatertrap

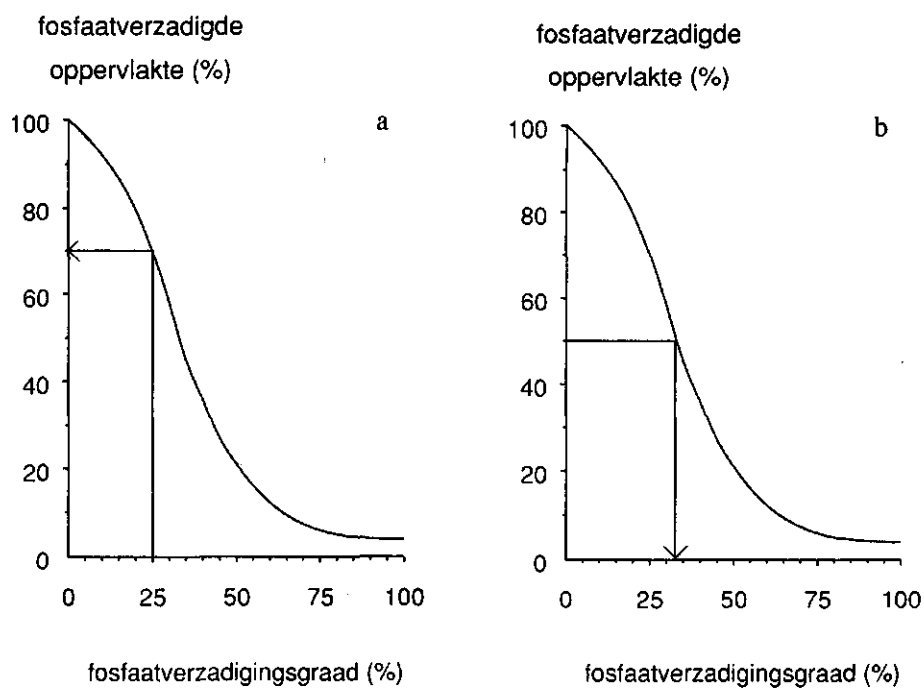
³⁾ fosfaatverzadigingsgraad

Via de fosfaatverzadigingscurve kan de fosfaatverzadiging op twee manieren in kaart worden gebracht. In de eerste plaats kan de fosfaatverzadigde *oppervlakte* in beeld worden gebracht door het oppervlaktepercentage bij een bepaalde fosfaatverzadigingsgraad van de fosfaatverzadigingscurve af te leiden (figuur 4a). Ten tweede kan een beeld worden gegeven van het *niveau* van de fosfaatverzadiging door bij een bepaald oppervlaktepercentage de fosfaatverzadigingsgraad vast te stellen (figuur 4b). Voorbeelden van beide zijn te vinden in Reijerink en Breeuwsma (1992).

Op overeenkomstige wijze kunnen de uitkomsten van de deelgebieden tot grotere gebieden worden geaggregeerd en in kaart gebracht, zoals stroomgebieden (zie Reijerink et al., i.v.), gemeentes, landbouwgebieden, e.d.



Figuur 3 Fosfaatverzadigingscurve van cel₁ (zie ook figuur 1)



Figuur 4 Bepaling van de fosfaatverzadigde oppervlakte (a) en de fosfaatverzadigingsgraad (b) met de fosfaatverzadigingscurve

3 FOSFAATBINDEND VERMOGEN EN NATUURLIJK FOSFAATGEHALTE

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de berekening van het fosfaatbindend vermogen en het natuurlijk fosfaatgehalte van de bodem. De hoeveelheid fosfaat die in de bodem kan worden vastgelegd (fosfaatbindend vermogen), wordt hoofdzakelijk bepaald door het ijzer- en aluminiumgehalte. Het verband tussen het fosfaatbindend vermogen en het ijzer- en aluminiumgehalte wordt besproken in paragraaf 3.1, waarbij tevens de verschillen in ijzer- en aluminiumgehalten tussen bodemeenheden, die onder invloed van bodemvormende factoren zijn ontstaan, worden toegelicht.

Behalve het fosfaat dat via bemesting in de bodem is terechtgekomen, is er ook van nature een hoeveelheid fosfaat in de bodem aanwezig, dat evenals het ijzer en aluminium voor een deel is vrijgekomen bij verweringsprocessen. Omdat de meetgegevens van natuurlijke fosfaatgehalten schaars waren, was een sterke bodemschematisatie noodzakelijk. In paragraaf 3.2 worden de gevolgde werkwijze en de uitkomsten toegelicht. In paragraaf 3.3 komt de kwetsbaarheid van de bodem voor fosfaatverzadiging aan de orde.

3.1 Fosfaatbindend vermogen

In de bodem van de zandgebieden, overwegend kalkloze zandgronden, wordt het fosfaat voornamelijk vastgelegd door amorfe en micro-kristallijne ijzer- en aluminiumoxiden die bij "bodemvormende" processen zijn ontstaan (Breeuwsma en Drijver-de Haas, 1987) en geëxtraheerd kunnen worden met een oxalaatoplossing (Schwertmann, 1964). Door toepassing van lineaire regressie is een verband afgeleid tussen het totaal fosfaatbindend vermogen en het (oxalaat-extraheerbaar) ijzer- en aluminiumgehalte van de bodem (Lexmond et al., 1982 en Schoumans et al., 1986):

$$FBV_t = 0,5 \times (Al_{ox} + Fe_{ox}) \times LD \times D \times 7,1 \quad (3)$$

waarin:

- FBV_t = totaal fosfaatbindend vermogen (kg P₂O₅ per ha);
- Al_{ox}+Fe_{ox} = oxalaat-extraheerbaar aluminium- en ijzergehalte (mmol per kg);
- LD = laagdikte (cm);
- D = dichtheid (kg per dm³);
- 7,1 = omrekeningsfactor voor mmol P per kg naar kg P₂O₅ per ha.

Bij het bepalen van het fosfaatbindend vermogen is uitgegaan van de bodemeenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000. Bodemeenheden die op vergelijkbare wijze door bodemvormende processen zijn beïnvloed, zijn vooraf in groepen samengevoegd. Vervolgens zijn per groep van bodemeenheden meetgegevens over ijzer- en aluminiumgehalten en dichtheid uit Bodemkundig Informatie Systeem van DLO-Staring Centrum verzameld, waarmee het fosfaatbindend vermogen is berekend.

Indeling in groepen van bodemeenheden

De indeling in groepen van bodemeenheden is uitgevoerd via de legenda-code, waarmee de bodemeenheid op de bodemkaart is aangegeven. Deze bestaat uit een letter- en cijferdeel en is in sommige gevallen aangevuld met één of meer cursieve letters vóór en/of achter de code (de zogenaamde toevoegingen). Het samenvoegen van de bodemeenheden is voornamelijk gebaseerd op het letterdeel van de legenda-code. Deze geeft de onderscheiding naar bodemvorming aan en bepaalt voor een belangrijk deel de verschillen in ijzer- en aluminiumgehalte. Tabel 4 geeft de oppervlakte van de bodemeenheden (aangeven met het letterdeel van de legenda-code) die in het onderzoeksgebied onder landbouwgronden voorkomen. Deze oppervlakte is bepaald via een overlay van de bodemkaart met het BARS-bestand.

Uit tabel 4 blijkt dat de veldpodzolgronden het meest voorkomen (Hn, 186 608 ha, 25%). Ook komen grote arealen beekerdgronden (pZg, 100 752 ha, 14%) en zwarte enkeerdgronden (zEZ, 112 994 ha, 15%) voor. Verder bestaat 13% van de oppervlakte uit klei- en veengronden en moerige gronden, die in dit onderzoek als niet-verzadigd zijn aangemerkt, omdat de definitie van fosfaatverzadigde gronden alleen op zandgronden betrekking heeft.

Het cijferdeel heeft (bij zandgronden) betrekking op het textuurverloop van de bovengrond (grofheid van het zand en leemgehalte). De verschillen in ijzer- en aluminiumgehalten zijn echter zo gering dat hierin geen onderscheid is gemaakt (Schoumans, pers. med.).

Sommige toevoegingen (tabel 5) wijzen op hogere ijzer- en aluminiumgehalten, en zijn daarom apart onderscheiden. De toevoeging *k* heeft betrekking op gronden met een klei- of zaveldek, waarvan in het zandgebied ca. 18 000 ha voorkomt (tabel 6). De toevoeging *f* wordt gebruikt voor gronden met zeer hoge ijzergehalten in de bovengrond. De ijzerophoping is, ook op perceelsniveau, zeer plaatselijk en is het gevolg van aanvoer van ijzerrijk grondwater. Op sommige plekken komen zelfs sterk verkitte ijzerlagen voor (ijzeroer). De meeste ijzerrijke gronden komen, eventueel in combinatie met een kleidek (toevoeging *fk*) bij de beekerdgronden voor (totaal ca. 11 000 ha). Tenslotte zijn de bodemeenheden met toevoeging *x* of *t* apart onderscheiden. Deze gronden (ca. 40 000 ha) hebben keileem of klei in de ondergrond.

IJzer- plus aluminiumgehalte

Van elke bodemeenheid is een "gemiddeld profiel" berekend, waarbij per cm diepte de mediaanwaarde is berekend van de ijzer- plus aluminiumgehalten uit het BIS. Deze methode is ook in Breeuwsma et al. (1990) toegepast en sindsdien met de meest recente gegevens uitgebreid. Bij het berekenen van een gemiddeld profiel kan onderscheid worden gemaakt in zogenaamde punt- en vlakgegevens. Bij puntgegevens is de bodemeenheid van het *punt* bepalend voor de bodemeenheid waartoe het punt wordt gerekend, terwijl bij vlakgegevens de bodemeenheid van het *vlak* bepalend is. In het laatste geval worden ook de onzuivere meetpunten meegenomen, waarvan de puntcode afwijkt van de vlakcode. In dit onderzoek is besloten de puntgegevens te gebruiken omdat de vlakgegevens waarschijnlijk geen representatief beeld geven van de onzuiverheid van de kaartvlakken op de bodemkaart.

Tabel 4 Oppervlakten van bodemeenheden van de bodemkaart, schaal 1: 50 000, die in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied onder landbouwgrond voorkomen

Bodemeenheden		Oppervlakte (ha)												
Naam	Code	-	I	II	II'	III	III'	IV	V	V'	VI	VII	VII'	totaal
Zandgronden														
Beekerd	pZg	5	0	4655	523	47972	22096	9889	7543	4175	3821	73	0	100752
Gooreerd	pZn	132	0	1361	218	12970	3678	4561	8447	3473	5246	837	42	40967
Haarpodzol	Hd	8	0	0	0	0	0	0	0	0	18	4893	2556	7476
Veldpodzol	Hn	148	0	134	1	9674	2749	4535	44307	29326	79966	14445	1321	186608
Laarpodzol	cHn	0	0	21	0	1597	323	979	4153	5714	25344	3651	413	42197
Holtpodzol	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	6480	868	7379
Vorstvaag	Zb	190	0	0	0	0	0	0	0	0	184	6869	975	8219
Vlakvaag	Zn	115	0	62	51	1980	1399	2850	1650	2058	2920	162	17	13264
Bruine enkeerd	bEZ	31	0	0	0	0	0	18	204	69	2729	12915	5097	21063
Zwarte enkeerd	zEZ	18	0	0	0	2	0	453	5103	5956	38278	47396	15787	112994
Lage enkeerd	EZg	13	0	38	0	5488	1734	0	0	0	0	1	0	7275
Associaties	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53264
Overige zandgronden	-	688	28	1221	11	4138	1874	493	1542	0	1065	4744	2788	18593
Niet zandgronden														
Klei		8980	1031	1651	80	9281	4675	3006	7222	3939	11894	5131	1985	58927
Veen		44	1277	5577	832	1967	1769	1035	263	0	236	0	21	13022
Moerig		16	197	5524	628	6042	5414	4158	477	374	1882	121	0	24834
Overig		12023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1992	313	14395
Totaal		75676	2533	20246	2345	101112	45712	31979	80913	55086	173681	109709	32185	731230

De onzuiverheid van de meetpunten, dit is het percentage punten waarvan de bodemeenheden niet overeenkomt met die van het kaartvlak op de bodemkaart (40-70%, Schoumans, mond. med.), is hoger dan die van de bodemkaart. Bij het vervaardigen van de bodemkaart is er namelijk naar gestreeft dat de onzuiverheid niet groter is dan 30% van de kaartvlak-oppervlakte (naar Steur en Heijink, 1991). Tabel 7 geeft de ijzer- plus aluminiumgehalten van de belangrijkste bodemeenheden.

Tabel 5 Toevoegingen aan de legenda-code van bodemeenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, die van belang zijn voor het fosfaatbindend vermogen

Toevoeging		Betekenis
voor de legenda-code	achter de legenda-code	
<i>k</i>		zavel- of kleidek, 15 à 50 cm dik
<i>f</i>		plaatselijk ijzerrijk, binnen 50 cm - mv. beginnend en tenminste 10 cm dik
	<i>x</i>	keileem of potklei beginnend tussen 40 en 120 cm - mv. en tenminste 20 cm dik
	<i>t</i>	gerijpte oude klei, anders dan keileem of potklei, beginnend tussen 40 en 120 cm - mv. en tenminste 20 cm dik

Tabel 6 Oppervlakte bodemeenheden met toevoeging *k*, *f*, *fk*, *x* of *t* onder landbouwgrond

Bodem- eenheid	Oppervlakte (ha)			
	toevoeging voor legenda-code			toevoeging achter legenda-code
	<i>k</i> ¹⁾	<i>f</i> ¹⁾	<i>fk</i> ¹⁾	<i>x</i> of <i>t</i>
Hd				
Hn	914			16402
cHn				3017
Zn	1944		1272	
bEZ				674
zEZ				4691
pZg	14366	4766	4653	7582
pZn	500			4884
Overig		590		1610
Totaal	17724	5356	5925	38860

¹⁾ inclusief *k...x,t*, *f...x,t* of *fk...x,t*

Het aantal meetgegevens varieert per bodemeenheden en is afhankelijk van de oppervlakte waarin de bodemeenheden op de bodemkaart voorkomt (tabel 4). Daarom komen de grootste aantallen meetpunten bij de beekeerd-, veldpodzol- en zwarte enkeerdgronden voor. Omdat niet alle meetpunten even diep bemonsterd zijn, neemt het aantal punten bij grotere diepten af. Wanneer onvoldoende gegevens aanwezig waren om een betrouwbare mediaanwaarde te bepalen, zijn de gegevens van andere, overeenkomstige, lagen gebruikt. Meestal gaat het hierbij om bodemeenheden met

kleine oppervlakten. Bij de bodemeenheden met een kleidek (toevoeging *k*, 17724 ha) zijn de gehalten van het kleidek van de beekerdgronden (*kpZg*) gebruikt en voor de ijzerrijke bodemeenheden (toevoeging *f* of *fk*) zijn de gehalten van ijzerrijke beekerdgronden (resp. *fpZg* en *fkpZg*) gebruikt. Tenslotte zijn bij de bruine enkeerdgronden en "overige" gronden met keileem of oude klei in de ondergrond (toevoeging *x* of *t*, resp. 674 en 1610 ha) de gehalten van de variant zonder toevoeging gebruikt.

Tabel 7 Oxalaat-extraheerbare ijzer- plus aluminiumgehalten van de belangrijkste bodemeenheden

Bodem-eenheid	IJzer- plus aluminiumgehalte (mmol/kg)								
	0-25 cm - mv.			25-80 cm - mv.			80-120 cm - mv.		
	med ¹⁾	vc ²⁾	n ³⁾	med	vc	n	med	vc	n
pZg	72	63	90	32	155	85	11	102	51
pZn	66	35	73	31	87	66	19	82	53
Hn	62	36	294	47	56	280	30	55	95
Zn	34	58	54	25	75	52	19	89	34
bEZ	96	38	14	95	71	14	64	57	9
zEZ	76	24	163	78	42	155	59	66	126
cHn	74	25	93	60	56	88	35	68	57
kpZg	148	58	24	28	92	22	9	67	17
fpZg	115	66	27	47	182	24	11	187	14
Hnx,t	65	64	20	83	46	16	51	51	17

¹⁾mediaan

²⁾variatie-coëfficiënt (= standaard afwijking/gemiddelde)

³⁾aantal waarnemingen

De methode in dit onderzoek wijkt af van de methode die in een eerder onderzoek (Breeuwsma en Schoumans, 1986) is gebruikt. In dat onderzoek werd het fosfaat-bindend vermogen berekend op basis van bodemhorizonten. Daarbij werd van 26 onderscheiden bodemeenheden de gemiddelde profielopbouw (aard en dikte van de bodemhorizonten) geschat. Vervolgens werd met een beperkt aantal meetgegevens (115 bodemprofielen) het ijzer- plus aluminiumgehalte per horizont bepaald. Omdat naderhand het aantal meetgegevens sterk is toegenomen, kon in dit onderzoek worden overgestapt naar een verfijndere (laagsgewijze) benadering.

De verschillen tussen de bodemeenheden zijn in belangrijke mate beïnvloed door bodemvorming. De voornaamste processen die hierbij een rol spelen zijn verwerking en in- en uitspoeling (Breeuwsma, 1984). Bij de verwerking van silicaten komen ijzer- en aluminiumionen vrij die uit de A-horizont kunnen uitspoelen en vervolgens in de B-horizont inspoelen. Dit proces van podzolering treedt vooral op bij de wat hoger gelegen zandgronden, die een gemiddeld neerwaartse waterbeweging hebben. Met name bij de veldpodzolgronden (Hn) kan een deel van het ijzer verdwenen zijn. Hierdoor is het ijzer- plus aluminiumgehalte in de ondergrond (>25 cm - mv.) lager dan in de bovengrond (resp. 30-47 mmol/kg en 62 mmol/kg). Het uitgespoelde ijzer is meestal terug te vinden in de bovengrond van de beekerdgronden (pZg) die in de kwelgebieden voorkomen. Het ijzer- plus aluminiumgehalte (72 mmol/kg) is

daardoor hoger dan in de veldpodzolgronden. Bij de ijzerrijke gronden komen nog hogere gehalten voor: bij de beekerdgronden is het gehalte van de ijzerrijke variant (fpZg) ongeveer een factor 1,5 hoger dan de niet-ijzerrijke variant. Plaatselijk kunnen de gehalten nog aanzienlijk hoger zijn. Verder valt op dat de bruine enkeerdgronden (bEZ) hogere ijzer- plus aluminiumgehalten hebben dan de zwarte enkeerdgronden (zEZ): resp. 96-64 en 76-59 mmol/kg. Dit hangt samen met de herkomst van het strooisel dat deel uitmaakte van het stalmestmengsel waarmee deze gronden in het verleden zijn bemest. Bij de bruine enkeerdgronden werden voornamelijk grasplaggen gebruikt, die veelal afkomstig waren van de beek- en gooreerdgronden uit de beekdalen. Met deze grasplaggen kwam een deel van de relatief ijzerrijke bovengrond in de mest terecht. Daarnaast kunnen de hoge gehalten ook afkomstig zijn van kleidekken. Bij veldpodzolgronden met keileem of oude klei in de ondergrond is het gehalte 21-36 mmol/kg hoger dan zonder dit materiaal. De laagste ijzer- en aluminiumgehalten komen bij de vlakvaaggronden (Zn) voor (19-34 mmol/kg). Het zijn stuifzandgronden en diep uitgestoven gronden waarin nog weinig verwerking is opgetreden (Bodemkaart, 1968, 1981).

Tabel 8 *Dichtheid van de belangrijkste bodemeenheden*

Bodem eenheid	Dichtheid (kg/dm ³)								
	0-25 cm - mv.			25-80 cm - mv.			80-120 cm - mv.		
	med ¹⁾	vc ²⁾	n ³⁾	med	vc	n	med	vc	n
pZg	1,37	10	55	1,52	12	23	1,59	10	11
pZn	1,37	8	65	1,55	12	43	1,63	4	35
Hn	1,33	12	191	1,55	10	144	1,63	5	88
Zn	1,46	10	33	1,61	8	20	1,55	13	14
bEZ	1,47	4	3	1,43	10	4	0,78	69	3
zEZ	1,38	7	113	1,34	9	109	1,46	10	89
cHn	1,37	8	47	1,52	8	38	1,63	4	21
kpZg	1,21	16	33	1,54	13	16	1,69	5	7
fpZg ⁴⁾	1,37	10	55	1,52	12	23	1,59	10	11
Hnx,t	1,41	8	11	1,63	7	12	1,75	7	11

¹⁾mediaan

²⁾variatie-coëfficiënt (= standaard afwijking/gemiddelde)

³⁾aantal waarnemingen

⁴⁾meetgegevens van de niet-ijzerrijke variant (pZg)

Dichtheid

Tabel 8 geeft de dichtheid van de bodemeenheden. Doordat de dichtheid vooral wordt beïnvloed door het organische-stofgehalte, is deze in de bovengrond lager (1,2-1,4 kg/dm³) dan in de ondergrond (1,5-1,6 kg/dm³). Voor de ijzerrijke clusters zijn de dichtheden van de niet-ijzerrijke variant gebruikt wegens het ontbreken van voldoende meetgegevens en omdat de verschillen waarschijnlijk gering zijn.

Fosfaatbindend vermogen

Met de meetgegevens uit het BIS en vergelijking (3) is het fosfaatbindend vermogen berekend. Behalve het ijzer- plus aluminiumgehalte en de dichtheid is ook de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van belang. Deze is gerelateerd aan de

grondwatertrap (zie hoofdstuk 5) en bepaalt de dikte van de fosfaatbindende laag. Tabel 9 geeft het fosfaatbindend vermogen tot aan de GHG van de meest voorkomende bodemeenheden.

Tabel 9 Totale fosfaatbindend vermogen tot aan de GHG¹⁾ van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen

Bodemeenheid		Fosfaatbindend vermogen (kg P ₂ O ₅ per ha)				
Naam	Code	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerdgronden	zEZ	-	16 400	22 300	41 000	50 350
laarpodzolgronden	cHn	-	15 000	20 100	34 450	41 000
veldpodzolgronden	Hn	9 500	12 650	16 400	28 300	34 000
beekeerdgronden	pZg	10 450	12 550	14 700	-	-
vlakvaaggronden	Zn	5 050	6 350	8 150	14 350	16 900

¹⁾ zie tabel 51, hoofdstuk 5

Uit tabel 9 blijkt dat het totale fosfaatbindend vermogen varieert van 5000 kg P₂O₅ per ha tot meer dan 50 000 kg P₂O₅ per ha. De vlakvaaggronden hebben het laagste fosfaatbindend vermogen, wat samenhangt met de lage ijzer- plus aluminiumgehalten in deze gronden (tabel 7). De enkeerdgronden hebben het hoogste fosfaatbindend vermogen omdat deze, in tegenstelling tot de beekeerd- en veldpodzolgronden, ook in de ondergrond een relatief hoog ijzer- plus aluminiumgehalte hebben. De variatie in fosfaatbindend vermogen tussen bodemeenheden met dezelfde grondwatertrap wordt voornamelijk bepaald door verschillen in ijzer- plus aluminiumgehalten. De verschillen in dichtheid tussen bodemeenheden zijn meestal gering. De grootste variatie in fosfaatbindend vermogen komt echter tussen grondwatertrappen voor en is het gevolg van de grote variatie in GHG (21 cm tot 170 cm, zie hoofdstuk 5).

Frequentieverdeling van het fosfaatbindend vermogen

Zoals reeds in hoofdstuk 2 is vermeld, is in Reijerink en Breeuwsma (1992) een variant doorerekend met, in plaats van de gemiddelde waarde, de frequentieverdeling van het fosfaatbindend vermogen. Op die manier werd een globale indruk gekregen van de onzekerheid in de modeluitkomsten ten gevolge van de ruimtelijke variabiliteit van het fosfaatbindend vermogen binnen een bodemeenheid. De verdeling van het fosfaatbindend vermogen zou voor elke bodemeenheid apart kunnen worden afgeleid uit de profielgegevens uit het BIS. Deze aanpak zou te veel tijd in beslag gaan nemen. Mede omdat het hier om een globale schatting ging van de onzekerheid in het fosfaatverzadigde areaal, is besloten om van een eenvoudiger benadering uit te gaan. Hierbij is voor alle bodemeenheden een lognormale verdeling aangenomen. De percentielwaarden van de lognormale verdeling zijn via een logtransformatie uit de standaardnormale verdeling berekend. Gegeven een lognormaal verdeelde variabele x :

$$\log x = \mu + \sigma\chi \quad (4)$$

met:

μ =verwachting van log-getransformeerde data;

σ =standaardafwijking van de log-getransformeerde data;

χ =standaardnormaal verdeelde variabele.

kunnen μ en σ als volgt worden benaderd:

$$\sigma^2 \approx \ln (vc_y^2 + 1) \quad (5)$$

$$\mu \approx \ln(y) - \sigma^2/2 \quad (6)$$

met:

vc_y = variatiecoëfficiënt van de niet log-getransformeerde data

y = gemiddelde van de niet log-getransformeerde data

Invullen van (5) en (6) in (4) geeft de percentielwaarden van de log-getransformeerde x . Terugtransformatie levert de percentielwaarden voor y :

$$y = \exp(x) \quad (7)$$

Voor de gemiddelde waarde (y) zijn de gegevens uit tabel 9 gebruikt. Voor de variatiecoëfficiënt (vc_y) is voor alle bodemeenheden een waarde van 15% gehanteerd. Deze waarde is door Breeuwsma et al. (1989) in het stroomgebied van de Schuitensbeek gemeten. Naderhand is gebleken dat de variatie-coëfficiënt van x zelf een betere benadering geeft van de verdeling van het fosfaatbindend vermogen dan de variatie-coëfficiënt van de gemiddelde waarde van x , die hier is gebruikt. Uit Brus et al. (i.v.) blijkt dat eerstgenoemde een factor 2 tot 5 hoger is. Tabel 10 geeft als voorbeeld de percentielwaarden bij een fosfaatbindend vermogen van 10 000 kg P_2O_5 per ha.

Tabel 10 *Percentielwaarden van de frequentieverdeling van het fosfaatbindend vermogen¹⁾*

Percentiel	Fosfaatbindend vermogen (kg P_2O_5 per ha)
10	8169
20	8723
30	9145
40	9522
50	9889
60	10270
70	10694
80	11212
90	11972

¹⁾ log-normale verdeling met een gemiddelde waarde van 10 000 kg P_2O_5 per ha en een variatie-coëfficiënt van 15%

3.2 Natuurlijk fosfaatgehalte

De hoeveelheid fosfaat die van nature in de bodem voorkomt, hangt vooral samen met vrije ijzer- en aluminiumoxiden. Het meeste fosfaat komt in de bovengrond (A-horizont) voor, terwijl bij de podzolgronden in de B-horizont ook een verhoogd fosfaatgehalte wordt aangetroffen, ten gevolge van inspoeling van ijzer en aluminium. De hoeveelheid fosfaat die in de bodem is gebonden wordt bepaald via een oxalaat-extractie (Lexmond et al., 1982 en Schoumans et al., 1986). Het fosfaatgehalte per oppervlakte-eenheid kan analoog aan (3) worden berekend uit:

$$P_{ox}^a = P_{ox} \times LD \times D \times 7,1 \quad (8)$$

met:

P_{ox}^a = areïek oxalaat-extraheerbaar fosfaatgehalte (kg P_2O_5 per ha);

P_{ox} = massiek oxalaat-extraheerbaar fosfaatgehalte (mmol P per kg grond).

Het "natuurlijk" fosfaatgehalte in de bodem is geschat met meetgegevens van het totaal-fosfaatgehalte uit het BIS en gegevens van Bannink (pers. med.). Daarbij is aangenomen dat in zandgronden ongeveer 90% van het totale fosfaat met de oxalaat-methode wordt geëxtraheerd (Lexmond et al., 1982). Naderhand is uit recent onderzoek van De Vries en Leeters (1993) gebleken dat dit percentage waarschijnlijk wat te hoog is. Deze auteurs vonden in de bovengrond (0-30 cm) van zandgronden een waarde van ca. 60%. Fosfaatgehalten die met een oxalaat-extractie zijn gemeten, zijn schaars, omdat deze methode pas na 1980/1981 is ingevoerd.

De monsters van Bannink (pers. med.) zijn afkomstig uit bossen of natuurterreinen. Omdat ook deze gehalten door een vroegere bemesting kunnen zijn beïnvloed of zijn beïnvloed (bijv. bij esgronden die weer zijn bebost), is het beter van een achtergrondgehalte te spreken of referentiewaarde. Deze referentiewaarde heeft dan betrekking op de gehalten zoals die in de periode 1950-1990 in bossen en natuurterreinen worden aangetroffen. De gegevens van Bannink (pers. med.) hebben als nadeel dat alleen de bovengrond (0-5 cm) bemonsterd is. De meetgegevens van het achtergrondgehalte uit het BIS zijn, in tegenstelling tot de ijzer- en aluminiumgegevens, beperkt, doordat de meeste gehalten niet bruikbaar zijn omdat ze afkomstig zijn van cultuurgronden, waar ze beïnvloed kunnen zijn door bemesting.

Vanwege de schaarse meetgegevens was een andere schematisatie noodzakelijk. Daarbij zijn de achtergrondgehalten op basis van horizonten geschat. Tabel 11 geeft de geschatte waarden voor de A-horizont van de meest voorkomende bodemeenheden. De hoogste gehalten komen, zoals verwacht, bij de enkeerdgronden voor. De vlakvaaggronden hebben de laagste referentiewaarde in de A-horizont (3 mmol P per kg). De beek- en veldpodzolgronden zitten daar tussenin.

De referentiewaarde in de ondergrond (B- en C-horizont) varieert minder en daarom is, mede wegens het beperkte aantal meetgegevens, geen onderscheid gemaakt tussen bodemeenheden. Het achtergrondgehalte van de B-horizonten is met de meetgegevens

uit het BIS geschat op 2,8 mmol P per kg, en het gehalte van de C-horizont op 1,5 mmol P per kg.

Tabel 11 *Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte in A-horizonten van de meest voorkomende bodemeenheden*

Bodemeenheid	Referentiewaarde (mmol P per kg grond)
zwarte enkeerdgronden	15
beekerdgronden	7
veldpodzolgronden	4
vlakvaaggronden	3

Met de geschatte gehalten per horizont is, overeenkomstig de werkwijze bij de ijzer- en aluminiumgehalten, het gehalte per cm diepte berekend. Tabel 12 geeft de resultaten voor de belangrijkste bodemeenheden. De gehalten in de bovengrond (0-25 cm) zijn meestal wat lager dan de geschatte gehalten van de A-horizonten uit tabel 11, doordat binnen 25 cm diepte vaak B-, C- of menghorizonten (A/B- of A/C-horizonten) voorkomen, die een lager fosfaatgehalte hebben. Beneden een diepte van 25 cm worden de gehalten bepaald door de C-horizont. Bij de zwarte en bruine enkeerdgronden komt beneden deze diepte ook nog een deel van de A-horizont voor.

Tabel 12 *Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte van de bovengrond (0-25 cm - mv.) en ondergrond (25-120 cm - mv.) van de meest voorkomende bodemeenheden (berekend uit geschatte waarden)*

Bodemeenheid	Referentiewaarde of natuurlijke fosfaatgehalte (mmol P per kg grond)	
	bovengrond	ondergrond
zwarte enkeerdgronden	15,0	7,2
beekerdgronden	4,4	1,7
veldpodzolgronden	2,9	1,7
vlakvaaggronden	2,2	1,6

Tabel 13 geeft de referentiewaarde voor het fosfaatgehalte in de bodemlaag tot aan de GHG. Deze is bij de gronden zonder cultuurdek niet hoger is dan ca. 3400 kg P_2O_5 per ha. De gronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden en laarpodzolgronden) hebben hogere gehalten die, afhankelijk van de grondwatertrap, variëren van 5000 tot 11 300 kg P_2O_5 per ha.

Tabel 13 Referentiewaarde voor het fosfaatgehalte in de bodemlaag tot aan de GHG van de meest voorkomende bodemeenheden en grondwatertrappen

Bodemeenheid	Fosfaatgehalte (kg P ₂ O ₅ per ha)				
	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerdgronden	-	6 500	8 300	10 600	11 300
laarpodzolgronden	-	5 000	5 500	6 800	7 500
veldpodzolgronden	900	1 100	1 500	2 700	3 400
beekeerdgronden	1 300	1 600	1 900	-	-
vlakvaaggronden	800	1 000	1 300	2 500	3 100

3.3 Kwetsbaarheid van de bodem voor fosfaatverzadiging

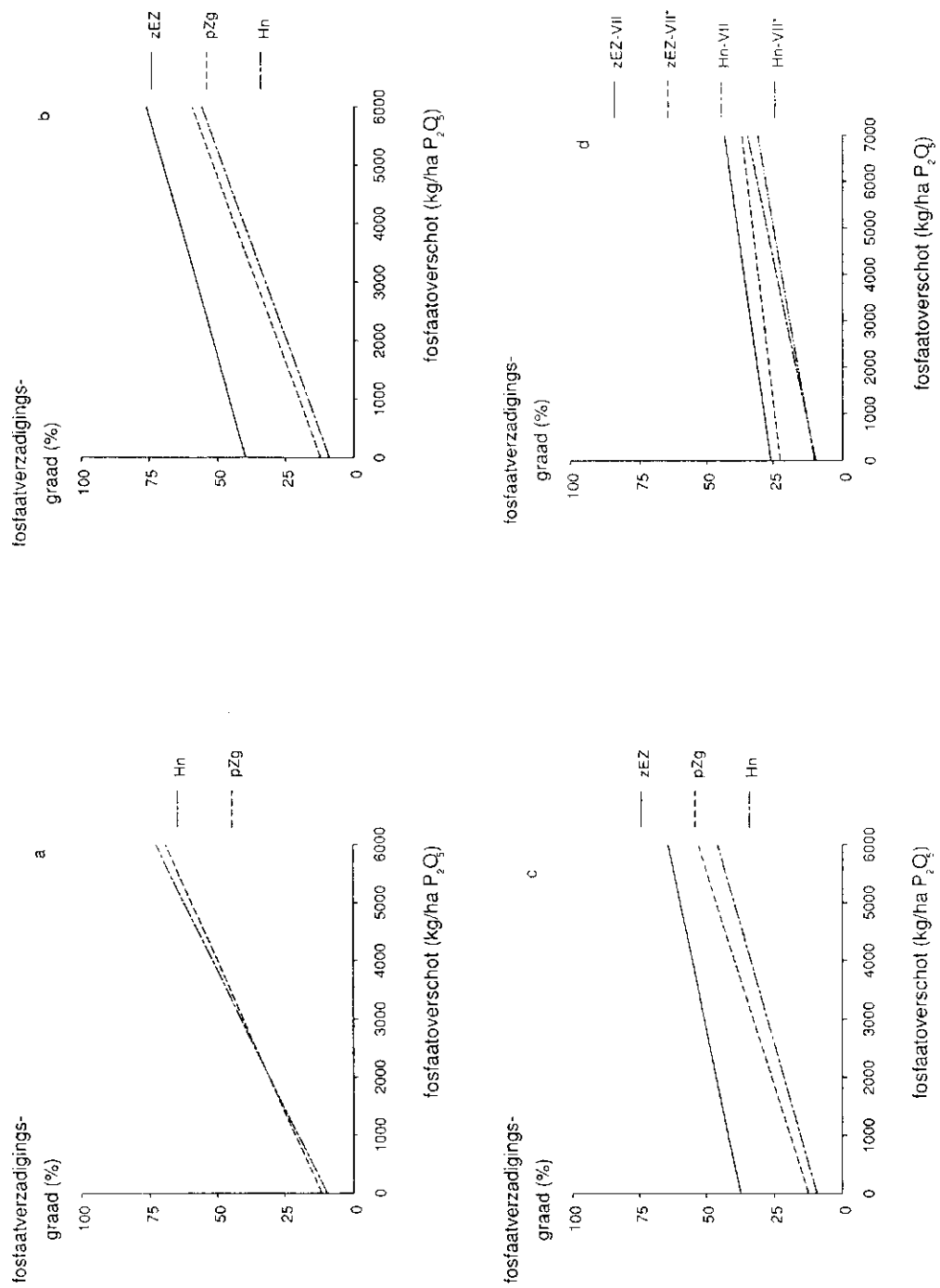
Met het fosfaatbindend vermogen en het achtergrondgehalte is de fosfaatverzadigingsgraad berekend, om een indruk te krijgen van de referentiewaarde van de fosfaatverzadiging. Dit is de waarde van deze grootheid vóór de periode met mestoverschotten (tabel 14).

Uit tabel 14 blijkt dat met name de zwarte enkeerdgronden en laarpodzolgronden op grondwatertrap V/V* en VI reeds "van nature" fosfaatverzadigd zijn (fosfaatverzadigingsgraad > 25%). Dit betekent dat de intensieve toepassing van mest uit de potstal op de oude cultuurgronden in het verleden reeds tot verzadiging heeft geleid. De fosfaatverzadigingsgraad neemt bij diepere grondwaterstanden (hogere grondwatertrappen) af vanwege de lagere fosfaatgehalten in de ondergrond. Bij de beekeerd- en veldpodzolgronden waar de natuurlijke fosfaatverzadigingsgraad varieert van 9 tot 13%, is er nauwelijks een effect van de grondwatertrap omdat de verhouding tussen het fosfaatgehalte en ijzer- plus aluminiumgehalte vrijwel constant is met de diepte.

Tabel 14 Referentiewaarde voor fosfaatverzadigingsgraad van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen

Bodemeenheid	Natuurlijke fosfaatverzadigingsgraad (%)				
	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerdgronden	-	40	37	26	23
laarpodzolgronden	-	34	27	20	18
veldpodzolgronden	9	9	9	10	10
beekeerdgronden	13	12	13	-	-
vlakvaaggronden	15	15	16	17	18

De kwetsbaarheid van de bodem voor fosfaatverzadiging, kan het beste worden bepaald aan de hand van de hoeveelheid fosfaat (c.q. fosfaatoverschot) die nog aan de bodem kan worden toegevoegd vóór verzadiging. Figuur 5 geeft voor de belangrijkste grondwatertrappen de relatie tussen het fosfaatoverschot en de fosfaatverzadigingsgraad van de meest voorkomende bodemeenheden.



Figuur 5 Fosfaatverzadigingsgraad als functie van het fosfaatoverschot voor de belangrijkste bodemeenheden op grondwatertrap III/III* (a), V/V* (b), VI (c) en VII/VII* (d)

Afgezien van de enkeerdgronden die door de potstalbemesting reeds fosfaatverzaadigd zijn, komen de meest kwetsbare gronden op de natte grondwatertrappen (hoofdzakelijk III/III*, fig. 5a en V/V*, fig. 5b) voor. Gronden op grondwatertrap III/III* (voornamelijk beekeerdgronden) zijn het meest kwetsbaar: reeds bij een fosfaatoverschot van ca. 1200 kg P_2O_5 per ha treedt fosfaatverzaadiging op (fosfaatverzaadigingsgraad > 25%). Bij fosfaatoverschotten groter dan 4000 kg P_2O_5 per ha, die behalve bij maïsland ook bij grasland voorkomen (zie hoofdstuk 4), treedt zelfs sterke verzaadiging op (fosfaatverzaadigingsgraad groter dan 50%). De droge veldpodzolgronden met grondwatertrap VII of VII* (fig. 5d) zijn het minst gevoelig; hier treedt pas verzaadiging op als het fosfaatoverschot groter is dan 4000-5000 kg P_2O_5 per ha. De gronden op grondwatertrap VI (fig 5c) nemen een tussenpositie in.

4 FOSFAATBELASTING VAN DE BODEM

Het fosfaat in de bodem van zandgebieden is voor het grootste deel afkomstig van dierlijke mestoverschotten. Daarnaast is een deel afkomstig van kunstmest en is een deel van nature in de bodem aanwezig. De berekening van de hoeveelheid fosfaat die via bemesting in de bodem is terechtgekomen, wordt in paragraaf 4.1 t/m 4.3 toegelicht. Een deel van het fosfaat is via het gewas afgevoerd (paragraaf 4.4). Het verschil tussen de (bruto) fosfaatbelasting en de gewasonttrekking is de hoeveelheid fosfaat die in de bodem is achtergebleven (paragraaf 4.5).

4.1 Aanvoer via dierlijke mest vóór 1970

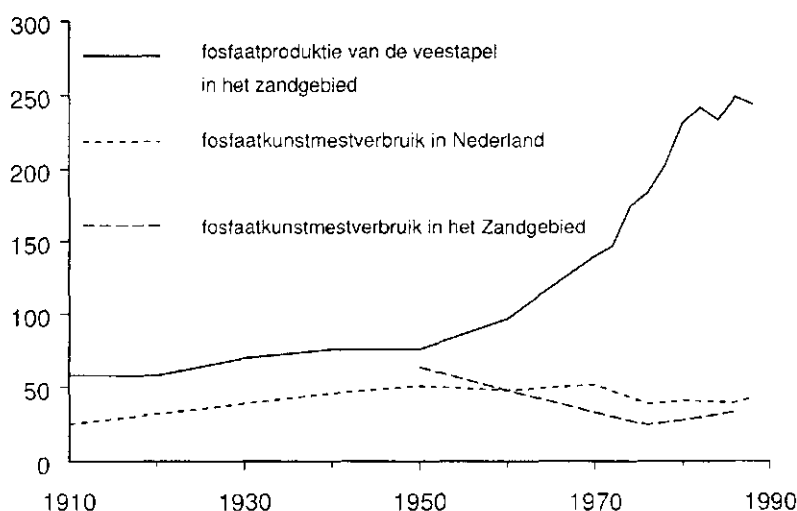
Bij de ontwikkeling van de fosfaatproduktie van de veestapel kunnen drie perioden worden onderscheiden, nl. de periode tot 1950, van 1950 tot 1970 en na 1970. In het volgende wordt per periode een toelichting gegeven op de wijze waarop de fosfaatbelasting van de bodem is berekend.

Periode vóór 1950

Figuur 6 geeft een beeld van de ontwikkeling van de fosfaatproduktie van de veestapel in het Zandgebied (Oostelijk, Centraal en Zuidelijk deel), vanaf het begin van deze eeuw. De cijfers van de periode vóór 1950 zijn ruwe schattingen die zijn gebaseerd op landelijke gegevens over de omvang en samenstelling van de veestapel (LEI, 1951). Hierbij zijn voor de fosfaatproduktie per diersoort de cijfers uit 1976 gebruikt (CBS, 1976). Verder is, op basis van regionale CBS-gegevens uit 1950 (CBS, 1950), verondersteld dat vóór 1950 de fosfaatproduktie in het zandgebied een factor 1,4 hoger lag dan het landelijke gemiddelde.

In de periode vóór 1950 lag de jaarlijkse fosfaatproduktie per ha landbouwgrond ongeveer op een constant niveau van 60-75 kg P_2O_5 per ha per jaar (figuur 6). In die tijd kwamen nog nauwelijks intensieve veehouderijbedrijven voor. De meeste bedrijven waren zogenaamde gemengde bedrijven waar de akkerbouw ten dienste van de veehouderij stond. Het veevoer werd hoofdzakelijk op het eigen bedrijf verbouwd, waardoor de aanvoer van mineralen via krachtvoer beperkt was. De dierlijke mest werd gebruikt om de akkers te bemesten, die geconcentreerd lagen op zogenaamde enken of essen. Door de (eeuwenlange) ophoping van dierlijke mest dat, vermengd met heide- of grasplaggen afkomstig was uit de potstallen, zijn gronden met een dik cultuurdek ontstaan (vnl. enkeerdgronden en laarpodzolgronden). Op grasland werd weinig stalmest gebruikt. Uit gegevens van Koopmans (1960) blijkt dat rond 1950 de jaarlijkse gemiddelde fosfaataanvoer met stalmest op grasland slechts 3 tot 10 kg/ha P_2O_5 bedroeg.

hoeveelheid fosfaat
(kg P_2O_5 per ha)



Figuur 6 Fosfaatproductie en het fosfaatkunstmestgebruik in de periode 1910-1990

Periode 1950-1970

Bij de schatting van de fosfaatbelasting van de bodem via dierlijke mest in de periode 1950-1970 is uitgegaan van CBS-gegevens over de fosfaatproductie van de veestapel. In deze periode begon de fosfaatproductie te stijgen (figuur 6). De toename van de fosfaatproductie na 1950 is in alle landbouwgebieden van het zandgebied opgetreden, in de meeste gevallen met een factor 2 (tabel 15). In de landbouwgebieden in Midden en Oost Brabant (o.a. de Westelijke Kempen, Noordelijk en Zuidelijk Peelgebied, en in Westelijk Noord-Limburg) is zelfs sprake van meer dan een verdrievoudiging van de fosfaatproductie. Verder valt op dat de fosfaatproductie in de Westelijke Veluwe van oudsher reeds hoog is geweest.

Bij de CBS-gegevens is alleen de rundveeproductie in de stalperiode (180 dagen) meegenomen (tabel 15). De grondgebonden mest, die in de weideperiode wordt geproduceerd, en direct op het grasland terechtkomt is weergegeven in tabel 16. Deze is berekend uit gegevens over de fosfaatproductie van de gehele veestapel, inclusief en exclusief rundvee die wel per provincie beschikbaar waren (CBS, 1976).

Bij de berekening van de fosfaatbelasting is één gemiddelde waarde voor het hele zandgebied gehanteerd (tabel 17). Dit heeft als voordeel dat de uitkomsten eenvoudiger kunnen worden gecombineerd met de celgegevens uit de periode na 1970 (par. 4.2).

Ten opzichte van het totale fosfaatgehalte van de bodem, is de onnauwkeurigheid die hiermee wordt geïntroduceerd, in de meeste landbouwgebieden gering (minder dan 10%). Hoewel in de Westelijke Veluwe en het Zandgebied (provincie Utrecht) de fosfaatproductie ca. twee keer zo hoog is geweest als het gemiddelde, is de werkelijke fosfaatbelasting van de bodem er lager geweest omdat een deel van de fosfaatproductie, die vooral afkomstig is van de pluimveestapel, naar andere gebieden is getransporteerd.

Tabel 15 Fosfaatproduktie van de gehele veestapel¹⁾ in de landbouwgebieden van het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied in de periode 1950-1970²⁾

Landbouwgebied	Fosfaatproduktie (kg P ₂ O ₅ per ha cultuurland per jaar)			
	1950	1960	1965	1970
Salland en Twente	41	53	71	84
Noordelijke Veluwe	47	47	60	70
Westelijke Veluwe	98	121	154	186
Oostelijke Veluwe	61	65	79	81
Veluwezoom	31	33	44	45
Noordelijke Achterhoek	50	67	93	104
Zuidelijke Achterhoek	61	73	98	109
Oude IJsselgebied	52	57	83	93
Rijk van Nijmegen	41	57	71	90
Zandgebied	77	86	112	124
Heuvelrug	58	64	87	97
Land van Bergen op Zoom	20	21	25	44
Noord-Westelijke zandgronden	28	37	46	74
Land van Breda	33	44	58	100
Westelijke Kempen	28	41	57	107
Meijerij	36	55	66	109
Oostelijke Kempen	31	44	57	101
Noordelijk Peelgebied	40	71	85	128
Zuidelijk Peelgebied	38	72	84	163
Land van Cuijk	38	60	70	116
Westelijk Noord-Limburg	47	76	114	176
Noordelijke Maasvallei	35	54	72	92
Land van Montfort	25	33	45	60
Gemiddelde	44	58	75	103

¹⁾ excl. weideproductie van rundvee

²⁾ Bron: CBS (1950-1970)

De verdeling van de dierlijke mest over bouw- en grasland is bepaald met gegevens van Draisma (1958) en Koopmans (1960). Deze hebben via een aselechte steekproef van een groot aantal praktijkpercelen (1500 bouwland- en 1500 graslandpercelen) uitgebreid cijfermateriaal verzameld over de bemestingspraktijk in de periode 1950-1952. Uit hun onderzoek blijkt dat het grootste deel van de dierlijke mest op bouwland werd gebruikt: de fosfaatgift is er twee keer zo hoog als op grasland. Er vanuit gaande dat deze verhouding voor de gehele periode tussen 1950 en 1970 geldt, is de fosfaatproduktie (tabel 15) over grasland en bouwland verdeeld (tabel 17). Bij grasland is de weideproductie van het rundvee (tabel 16) bij de belasting opgeteld, waardoor de totale fosfaatbelasting via dierlijke mest hoger is dan die van bouwland.

Tabel 16 Fosfaatbelasting van grasland door rundvee in de weideperiode¹⁾

	Fosfaatbelasting (kg P ₂ O ₅ per ha)			
	1950	1960	1965	1970
Overijssel	30	35	37	41
Gelderland	31	37	39	41
Utrecht	33	38	39	42
Noord-Brabant	32	42	44	44
Limburg	34	41	41	43
Oppervlakte gewogen gemiddelde ²⁾ :	32	39	41	42

¹⁾ Bron: CBS, 1976

²⁾ berekend met het oppervlakte grasland in de zandgebieden van de betrokken provincies.

Tabel 17 Fosfaatproduktie van de veestapel en de fosfaatbelasting door dierlijke mest van gras- en bouwland in de Zandgebieden periode 1950-1970

Jaar	Fosfaatproduktie van de veestapel (kg/ha P ₂ O ₅)		Fosfaatbelasting (kg/ha P ₂ O ₅)	
	Stalmestprod. ¹⁾	Weideprod. ²⁾	grasland	bouwland
1950	44	32	47	29
1960	58	39	58	39
1965	75	41	66	50
1970	103	42	76	69

¹⁾ kg P₂O₅ per ha cultuurland

²⁾ produktie van rundvee in de weideperiode (kg P₂O₅ per ha grasland)

4.2 Aanvoer via dierlijke mest na 1970

Na 1970 ging de fosfaatproduktie in de zandgebieden nog sterker toenemen, vooral door de opkomst van de intensieve veehouderij. Rond 1985 bereikte de fosfaatproduktie een niveau van ca. 250 kg P₂O₅ per ha cultuurgrond per jaar. Omdat in deze periode de grootste hoeveelheid fosfaat in de bodem terecht is gekomen, is het van belang de fosfaatoverschotten zo nauwkeurig mogelijk te schatten. Hiervoor is het model MESTOP (MESTOverschot- en Plaatsingsmodel) van het LEI-DLO (Luesink en Van der Veen, 1989) gebruikt. Het model waarvan de invoer uit de jaarlijkse Landbouwtellinggegevens bestaat, berekent de jaarlijkse fosfaatbelasting van vijf gewasgroepen (maïs, gras, hakvruchten, granen en overige landbouwgewassen). In paragraaf 4.2.1 wordt de rekenmethode verder toegelicht. Uit privacy overwegingen mag het LEI-DLO geen cijfers van individuele bedrijven verstrekken. In plaats daarvan is het gemiddelde van meerdere bedrijven berekend op basis van

rastercellen van 2,5 x 2,5 km (paragraaf 4.2.2). Het model biedt de mogelijkheid om een aantal parameters te specificeren, waaronder maximale bemestingsnormen en de toewijzingsvolgorde van mestsoorten. Deze parameters zijn in dit onderzoek afgestemd op enquête uitkomsten over mesttransporten in het verleden (paragraaf 4.2.3). In paragraaf 4.2.4 komen de modeluitkomsten aan bod.

4.2.1 Rekenmethode

Mestoverschotten en -tekorten

De mestproduktie wordt berekend op basis van het aantal aanwezige dieren en de produktie per dier. De *potentiële* plaatsingsmogelijkheden resulteren uit een combinatie van de oppervlakte en het gebruik van de grond met de toegestane hoeveelheden mest per hectare. Op een overschotbedrijf zullen de potentiële plaatsingsmogelijkheden veelal maximaal worden benut, omdat de afzet van mest doorgaans met kosten gepaard gaat. Op tekortbedrijven zullen de potentiële plaatsingsmogelijkheden niet steeds volledig worden benut, omdat naast de gehanteerde normering ook andere criteria een rol spelen bij de acceptatie van mest. Dit verschil wordt aangegeven met de *acceptatiegraad*, die gedefinieerd is als de verhouding tussen *reële* en *theoretische* plaatsingsmogelijkheden. De theoretische plaatsingsmogelijkheden zijn berekend op basis van de gekozen normering en gecorrigeerd voor de hoeveelheid mest op het eigen bedrijf. De theoretische plaatsingsmogelijkheden geven dus de maximale plaatsingsruimte aan die beschikbaar is.

Mestsoorten

In de Landbouwtelling worden enkele tientallen diercategorieën onderscheiden. Veel van deze categorieën produceren dezelfde mestsoort en/of de mest komt in dezelfde kelder terecht. Daarom zijn voor het berekenen van de mestproduktie de diercategorieën uit de Landbouwtelling geaggregeerd in nieuwe categorieën (mest-eenheden) nl. melkvee, vleesvee, vleeskalveren, vleesvarkens, fokvarkens, legpluimvee, en slachtpluimvee (tabel 18). De aggregatie heeft plaatsgevonden op basis van de forfaitaire (wettelijk vastgelegde) fosfaatproduktienormen per diercategorie in de Landbouwtelling. Bij het melkvee is de mestproduktie opgesplitst in een deel weidemest, dat in het model altijd op grasland terechtkomt, en stalmest. Verder worden bij legpluimvee natte en droge mest onderscheiden. Als gevolg van ontwikkelingen in de mestproduktie en mineralengehalten, zijn voor de periode 1971-1982 en 1983-1990 verschillende produktiecijfers gehanteerd.

Maximale bemestingsniveaus

De verdeling van de dierlijke mest over de gewassen vindt in drie bemestingsronden plaats, waarbij de toegestane hoeveelheid dierlijke mest die mag worden aangewend, wordt bepaald door het maximale bemestingsniveau (tabel 19). De wettelijke fosfaat-norm, die sinds 1-5-1987 is ingevoerd, is in het model niet eerder dan per 1-1-1988 toegepast omdat nog in de eerste helft van 1987 hogere fosfaatgiften kunnen zijn gegeven.

Tabel 18 Mest- en fosfaatproductie per mesteenheid per jaar

Mesteenheid	Mestproductie (kg)		Fosfaatproductie (kg P ₂ O ₅)	
	1971-1982 ¹⁾	1983-1990 ²⁾	1971-1982 ¹⁾	1983-1990 ²⁾
melkvee (wei)	12 000	12 000	23,00	23,00
melkvee (stal)	10 000	10 000	18,00	18,00
mestvarkens	1 600	1 700	7,50	6,63
fokvarkens	5 000	5 400	18,50	19,44
mestkalveren	3 000	3 500	3,90	5,25
legkippen (nat) x 100	8 000	6 300	64,00	50,00
legkippen (droog) x 100	2 000	1 800	50,00	50,00
slachtkuiken x 100	700	1 000	16,80	24,00

Bronnen: ¹⁾ Lammers (1984), ²⁾ Van der Hoek (1987)

In de eerste bemestingsronde is uitgegaan van landbouwkundige normen. Bij grasland wordt een maximumwaarde voor kali (K₂O) gehanteerd, in verband met het vermijden van kopziekte bij rundvee. De weideproductie van rundvee komt altijd op grasland terecht. Bij bouwland wordt het gebruik van mest gelimiteerd door een maximumwaarde voor stikstof (N), die is afgestemd op de gewasbehoefte. Bij granen wordt vóór de invoering van de wettelijke fosfaatsnorm geen dierlijke mest gebruikt. Op bedrijven waar meer mest wordt geproduceerd dan de hoeveelheid die voor de bemesting van de gewassen nodig is, zal een extra hoeveelheid mest op het eigen bedrijf worden afgezet. Om in een dergelijke (overschot)situatie extra plaatsingsruimte op het bedrijf te creëren, is in het model een tweede, en voor varkensmest ook een derde ronde opgenomen met hogere bemestingsniveaus. De hoogte van de bemestingsniveaus in de tweede en derde ronde zijn ondermeer afgestemd op basis van mesttransporten in het verleden (paragraaf 4.2.3).

Tabel 19 Maximale bemestingsniveaus per bemestingsronde

Gewas	Maximale bemestingsniveaus van stikstof (N) en fosfaat (P ₂ O ₅) (kg per ha)					
	Bemestingsronde 1		Bemestingsronde 2		Bemestingsronde 3	
	'71-'87	'88-'90	'71-'87	'88-'90	'71-'87	'88-'90
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
maïs	350	200	2500	300	5000	350
gras	400 ¹⁾	125	500 ¹⁾	225	700 ¹⁾	250
hakvruchten	200	70	500	125	500	125
granen	0	0	0	125	0	125
overige gewassen	200	125	200	125	200	125

¹⁾ kg K₂O per ha

Toewijzingsvolgorde

Bedrijven waarop meer dan één mestsoort wordt geproduceerd, zien zich voor de vraag gesteld in welke volgorde de mestsoorten gebruikt moeten worden. Wanneer er meer gewasgroepen op een bedrijf voorkomen, moet worden bepaald op welke gewassen er wel en op welke er geen mest wordt gebracht. Op een bedrijf met meer

mestsoorten en meer gewasgroepen is het probleem nog ingewikkelder. Daarbij speelt behalve de bemestingsvolgorde van de gewassen ook de gebruiksvolgorde van de mestsoorten een rol.

Tabel 20 geeft per bemestingsronde de gewasvolgorde die in dit onderzoek is gehanteerd. Hierbij is gelet op de mate waarin de gewassen dierlijke mest kunnen "verdragen". Op maïsland kunnen grote hoeveelheden dierlijke mest worden uitgereden zonder dat dit nadelig is voor het gewas. Daarom wordt in de eerste ronde eerst mest op maïsland geplaatst, totdat het maximale bemestingsniveau is bereikt.

Tabel 20 Gewasvolgorde voor de toediening van dierlijke mest

Volgorde	Bemestingsronde 1	Bemestingsronde 2	Bemestingsronde 3
1	maïs		
2	gras		
3	hakvruchten		
4	overige gewassen (excl. granen)		
5		maïs	
6		gras	
7		hakvruchten	
8		granen	
9			maïs
10			gras

Vervolgens wordt de eventueel resterende mest over de andere gewassen verdeeld in de volgorde grasland, hakvruchten en overige gewassen. De mest die na de eerste ronde over is, wordt in de tweede en in de derde ronde (alleen varkensmest) verdeeld. Bij granen wordt alleen dierlijke mest gebruikt wanneer er aan het eind van de tweede bemestingsronde nog mest over is, omdat dit gewas gevoelig is voor legering.

Tabel 21 Toewijzingsvolgorde van mestsoorten

Volgorde	Toewijzingsvolgorde	
	Bemestingsronde 1 en 2	Bemestingsronde 3
1	fokvarkensmest	
2	mestvarkensmest	
3	vleeskalvermest	
4	melkveemest	
5	mestveemest	
6	legkippenmest (nat)	
7	legkippenmest (droog)	
8	slachtkuikensmest	
9		• fokvarkensmest
10		mestvarkensmest

Tabel 21 geeft de volgorde waarin de verschillende mestsoorten worden toegediend. Bij het vaststellen is er vanuitgegaan dat de mestsoorten met het hoogste watergehalte zoveel mogelijk op het eigen bedrijf worden afgezet. Afgezien van de derde

bemestingsronde met varkensdrijfmest, komt de pluimveemest het laatst aan bod omdat dit vanwege het hoge droge stof- en mineralengehalte gemakkelijk buiten het bedrijf kan worden afgezet.

4.2.2 Aggregatie van bedrijfsgegevens

Op grond van privacy overwegingen mag het LEI-DLO geen afzonderlijke bedrijfsgegevens ter beschikking stellen. In plaats daarvan zijn de gegevens tot rastercellen van 2,5 x 2,5 km geaggregeerd. Bij minder dan 15 bedrijven zijn de gegevens met die van de naastliggende cel bij elkaar genomen. De rastercel is bepaald via de postcode, waarmee de ligging van het bedrijf met een nauwkeurigheid van 500x500 m bepaald kan worden. Omdat in het bestand met de Landbouwtellinggegevens in plaats van de naam-adres-woonplaats-gegevens (NAW), het bedrijfsregistratienummer is opgeslagen, was een koppeling met een adressenbestand noodzakelijk. Hiervoor waren de adresgegevens van 1988 beschikbaar. Bij ca. 10% van de bedrijfsregistratienummers kon geen koppeling worden gemaakt door fouten in de adressering of wanneer het postadres een andere is dan het bedrijfsadres (bijv. postbusnummers). Bij Landbouwtellinggegevens uit vroegere jaren neemt dit percentage toe, omdat de gegevens van de bedrijven die voor 1988 zijn opgeheven, niet in het adressenbestand voorkomen. Bij kaartblad 32 Oost bijvoorbeeld, bleek dat 25% van de bedrijven uit de Landbouwtelling van 1979 niet gekoppeld kon worden. Bij de Landbouwtelling van 1971 is het percentage toegenomen tot 45%. De niet-gekoppelde bedrijven zijn ad random verdeeld over rastercellen binnen de gemeenten waar de bedrijven volgens hun bedrijfsregistratienummer liggen. Een andere onnauwkeurigheid ontstaat doordat de NAW-gegevens de ligging van de bedrijfsgebouwen aangeven. De landbouwgronden kunnen (gedeeltelijk) in andere rastercellen liggen, hetgeen vooral voor bedrijven nabij celgrenzen geldt.

In MESTOP wordt via zogenaamde "netto-berekeningen" de mest van overschot-bedrijven verdeeld over bedrijven met plaatsingsruimte (tekortbedrijven). Doordat de modeluitkomsten op celniveau geaggregeerd worden, kunnen in het model de bedrijfsoverschotten alleen binnen cellen worden verdeeld. De mest die eventueel op celniveau overblijft, wordt verondersteld buiten de mestoverschotgebieden te zijn afgevoerd. Doordat in werkelijkheid ook mest naar tekortbedrijven in andere cellen binnen het onderzoeksgebied is getransporteerd, is de fosfaatbelasting er vermoedelijk wat hoger is geweest dan door het model is berekend.

Bij het verdelen van de bedrijfsoverschotten doet zich het probleem voor dat niet alle (potentiële) plaatsingsmogelijkheden worden benut. De acceptatiegraad (zie paragraaf 4.2.1) kan variëren van 0% tot 100%. De hoogte van de acceptatiegraad is van diverse factoren afhankelijk zoals de waardering van de mestsoort, het gewas en de regio waar de mest naar toe gaat. Verder kan de acceptatiegraad niet los worden gezien van de maximale bemestingsniveaus, omdat het produkt van beide de plaatsingsruimte bepaalt. De acceptatiegraden die in dit onderzoek zijn gehanteerd staan vermeld in tabel 22. Ze hebben betrekking op de plaatsingsmogelijkheden van de tweede bemestingsronde (tabel 19) en zijn (in combinatie met de maximale

bemestingsniveaus) afgestemd op mesttransporten (paragraaf 4.2.3). In de netto-berekeningen vóór 1988 is geen derde ronde opgenomen, omdat er vanuitgegaan is dat het gebruik van grote hoeveelheden extra varkensdrijfmest alleen met mest van het eigen bedrijf plaatsvindt. Vanaf 1988 is alleen voor maïsland een derde bemestingsronde opgenomen en zijn voor alle gewassen hogere acceptatiegraden gehanteerd in verband met de invoering van de gefaseerde fosfaatnorm. De toewijzingsvolgorde van de mestsoorten en de gewasvolgorde is dezelfde als die op bedrijfsniveau.

Tabel 22 Acceptatiegraden en maximaal aangevoerde hoeveelheden mest op bedrijven met plaatsingsruimte binnen de cel

Gewas	Acceptatiegraad (%)		Maximale aanvoer (kg per ha)	
	1971-1987	1988-1990 ³⁾	1971-1987 N	1988-1990 P ₂ O ₅
maïs	25	100	625	350
gras	5	40	25 ²⁾	98
hakvruchten	15	63	75	78
granen	0	25	0	31
overige gewassen	15	25	30	31

¹⁾ % van de potentiële plaatsingsmogelijkheden, berekend met de maximale bemestingsniveaus uit tabel 19

²⁾ kg K₂O per ha

³⁾ m.b.t. de plaatsingsmogelijkheden in de derde bemestingsronde

In tabel 22 staan ook de maximale hoeveelheden mest, uitgedrukt in kg N, P₂O₅ of K₂O per ha, die op de tekortbedrijven kunnen worden aangevoerd. Meestal wordt er minder aangevoerd, omdat een deel van de plaatsingsruimte reeds door mest van het eigen bedrijf wordt opgevuld en/of omdat het mestoverschot op celniveau onvoldoende is.

4.2.3 Afstemming van de modelparameters op basis van mesttransporten

De maximale bemestingsniveaus (tabel 19), de gewasvolgorde (tabel 20), de toewijzingsvolgorde van mestsoorten (tabel 21) en de acceptatiegraden (tabel 22) zijn zodanig gekozen dat de berekende mestoverschotten ruwweg overeenkomen met de hoeveelheden die getransporteerd zijn. Gezien het grote aantal parameters dat hiermee moet worden ingesteld, moet bedacht worden dat het slechts om een globale afstemming gaat, met name gericht op mestoverschotten op bedrijfs- en celniveau. Voor een meer verfijnde afstemming, zoals voor de verdeling van dierlijke mest op bedrijfsniveau, zijn de beschikbare gegevens niet toereikend.

Voor de afstemming van de modelparameters zijn de uitkomsten van drie enquêtes gebruikt.

In de eerste twee enquêtes, die in 1982 zijn uitgevoerd, is het mesttransport vanuit de Westelijke Veluwe en Noord-Brabant geïnventariseerd (Roerink, 1983 en Prov.

Dir. Bedrijfsontwikkeling Noord-Brabant, 1984). Omdat het hier om regionale transporten gaat, zijn de gegevens vergeleken met de overschotten die zijn overgebleven na de netto-berekeningen van MESTOP (hierna aangegeven met berekende mesttransporten). Hierbij zijn eerst de resultaten van de eerste twee bemestingsrondes bekeken (maximaal 2500 kg N op maïsland en 500 kg K₂O op grasland). Uit tabel 23 blijkt dat bij de Westelijke Veluwe de berekende transporten van rundveemest en varkensmest resp. een factor 2 en 6 hoger zijn dan de getransporteerde hoeveelheden, terwijl het droge en natte pluimveemesttransport wat te laag wordt berekend. Bij Noord-Brabant komen, afgezien van rundveemest, de resultaten beter overeen.

Tabel 23 *Gemeten¹⁾ en berekende²⁾ mesttransporten vanuit de Westelijke Veluwe en Noord-Brabant*

Mestsoort	Mesttransport (10 ⁶ kg)			
	Westelijke Veluwe		Noord-Brabant	
	gemeten	berekend	gemeten	berekend
rundveemest³⁾	87	162	55	0
varkensmest³⁾	53	308	171	189
pluimveemest				
nat	165	153	132	170
droog	59	35	130	107

¹⁾ Bronnen: Prov. Dir. Bedrijfsontwikkeling (1984) en Roerink (1983)

²⁾ Berekend met MESTOP na tweede bemestingsronde

³⁾ Uitgedrukt in hoeveelheden drijfmest

De derde enquête waarmee de modeluitkomsten zijn vergeleken, is de landelijke enquête van het CBS die in de periode 1985-1986 is uitgevoerd (CBS, 1988). De resultaten geven een beeld van de hoeveelheid mest die van overschotbedrijven naar elders is afgevoerd. In tabel 24 worden de enquête- en modeluitkomsten met elkaar vergeleken. De berekende rundvee- en pluimveemesttransporten komen goed overeen met de gemeten hoeveelheden. Maar evenals bij de voorgaande enquêtes, blijkt ook hier dat het berekende transport van varkensmest groter is (ca. 2,4 milj. ton) dan de hoeveelheid die in de enquête gemeten is.

De conclusie uit voorgaande is dat de getransporteerde hoeveelheden rundveemest en pluimveemest die door MESTOP berekend worden, redelijk overeenkomen met de hoeveelheden die in de praktijk getransporteerd zijn. Bij varkensmest zijn, vooral bij de Westelijke Veluwe, de berekende transporten echter te hoog. In verband hiermee is voor varkensmest een derde bemestingsronde ingevoerd met maximale niveaus van 5000 kg N per ha voor maïsland en 700 kg K₂O per ha voor grasland. Met deze niveaus komen de berekende mesttransporten in de Westelijke Veluwe en Noord-Brabant (samen 236 000 ton) vrijwel overeen met de gemeten transporten. Bij de CBS-enquête komen de resultaten minder goed overeen. Het berekende transport van varkensmest is na de derde bemestingsronde 5,1 milj. ton en is nog steeds hoger dan de 4,0 milj. ton die in de enquête gemeten is (tabel 24). Deze kan alleen worden benaderd wanneer zeer hoge bemestingsniveaus worden ingesteld. Bij

verhoging van de niveaus naar 1000 kg K₂O per ha grasland, 10 000 kg N per ha maïsland en 700 kg N per ha overig bouwland wordt een mesttransport van 4,2 milj. ton berekend. Dergelijke hoge bemestingsniveaus zijn echter niet realistisch. Meer waarschijnlijk is dat de hoeveelheid getransporteerde mest bij deze enquête te laag is ingeschat. Een aanwijzing hiervoor is dat uit dezelfde enquête blijkt dat de hoeveelheid afgevoerde mest twee keer zo hoog is geweest als de hoeveelheid aangevoerde mest, waarvan het CBS is uitgegaan. Daarom is in de standaardberekeningen het maximale bemestingsniveau van maïs- en grasland gehandhaafd op resp. 5000 kg N per ha en 700 kg K₂O per ha.

Tabel 24 *Gemeten¹⁾ en berekende²⁾ mesttransport in Nederland in 1985/1986*

Mestsoort	Mesttransport (10 ⁶ kg)	
	gemeten	berekend
Rundveemest ³⁾	4065	4060
Varkensmest ³⁾	4028	6445
Pluimveemest		
nat	1116	1165
droog	517	535

¹⁾ Bron: CBS (1988)

²⁾ Berekend met MESTOP na tweede bemestingsronde

³⁾ Uitgedrukt in hoeveelheden drijfmest

4.2.4 Uitkomsten

Tabel 25 geeft het gemiddelde bemestingsniveau van stikstof (N), fosfaat (P₂O₅) en kali (K₂O) voor gras- en maïsland in 1985, uitgesplitst naar bedrijfstype.

Tabel 25 *Gemiddeld bemestingsniveau in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied¹⁾ (modelberekeningen met MESTOP met Landbouwtellinggegevens van 1985)*

Bedrijfstype	Gemiddeld bemestingsniveau (kg per ha)					
	grasland			maïsland		
	K ₂ O	P ₂ O ₅ ²⁾		N	P ₂ O ₅ ³⁾	
		rdm	vdm		rdm	vdm
rundveehouderij	352	115	201	685	280	411
intensieve veehouderij	445	146	255	1355	554	813

¹⁾ LEI-indeling

²⁾ berekend uit de verhouding K₂O/P₂O₅ in runderdrijfmest (rdm) of vleesvarkensdrijfmest (vdm)

³⁾ berekend uit de verhouding N/P₂O₅ in runderdrijfmest (rdm) of vleesvarkensmest (vdm)

Het bemestingsniveau van fosfaat op maïsland is een factor 2 à 3 hoger dan dat van grasland, doordat maïsland de hoogste maximale bemestingsniveaus heeft (tabel 19) en als eerste in aanmerking komt voor de toediening van dierlijke mest (tabel 20). Vanwege de hoge mestproductie in relatie tot de oppervlakte cultuurland, is het bemestingsniveau bij de intensieve veehouderijbedrijven hoog: 445 kg K₂O per ha grasland en 1355 kg N per ha maïsland. De oppervlakten zijn echter gering: resp. 19 000 en 20 000 ha (tabel 26). De grootste oppervlakten gras- en maïsland komen bij de rundveehouderijbedrijven voor (283 000 ha grasland en 64 700 ha maïsland), waar de gemiddelde bemesting veel lager is: resp. 352 kg K₂O per ha en 685 kg N per ha.

Tabel 26 Gewasoppervlakten in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied¹⁾, uitgesplitst naar bedrijfstype

Bedrijfstype	Oppervlakte (ha)	
	gras	maïs
rundveehouderij	283 000	64 700
intensieve veehouderij	19 100	20 000
gemengd bedrijf	44 900	29 800
overig	42 600	28 500
totaal	389 600	143 000

¹⁾ LEI-indeling, Landbouwtelling 1988

De oppervlakte landbouwgronden die tot het maximale niveau zijn bemest, is gering: 5824 ha grasland, 714 ha maïsland en 2684 ha overig gewassen (tabel 27). Dit komt doordat de bedrijven met mestoverschotten meestal weinig landbouwgrond hebben. Slechts bij een klein areaal wordt het bemestingsniveau bepaald door de maximale normen. Het grootste deel van de landbouwgronden behoort tot de bedrijven waar volgens de maximale bemestingsniveaus van tabel 19 en 22 nog plaatsingsruimte is.

Tabel 27 Maximale bemestingsniveaus met gewasoppervlakten¹⁾

Gewas	Maximaal bemestingsniveau (kg N per ha)	Oppervlakte dat tot max. niveau bemest is (ha)
grasland	700 ²⁾	5824
maïsland	5000	714
overige gewassen	200-500	2684

¹⁾ Modelberekeningen met MESTOP met Landbouwtellingsgegevens uit 1985 van de landbouwbedrijven in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied (LEI-indeling)

²⁾ kg K₂O per ha

Op deze bedrijven zijn juist de gewasvolgorde en toewijzingsvolgorde van de mestsoorten van belang, omdat deze de verdeling van de mest binnen het bedrijf, en daarmee het bemestingsniveau van de gewassen bepalen. In tegenstelling tot de berekende overschotten, kan dit niet met de praktijk getoetst worden, omdat perceelsgegevens ontbreken. In verband hiermee is door Reijerink en Breeuwsma (1992) een variant doorgerekend waarin de fosfaatbelasting van gras- en maïsland aan elkaar gelijk zijn gesteld. Hieruit blijkt dat de onzekerheid in de verdeling van de dierlijke mest vooral invloed heeft op de betrouwbaarheid van de schattingen van de arealen sterk en zeer sterk verzadigde gronden.

4.3 Aanvoer via kunstmest

Behalve met dierlijke mest, is ook met kunstmest fosfaat in de bodem terechtgekomen. Het gebruik van kunstmest kwam vooral na 1900 op gang, waarbij voor de fosfaatbemesting meestal Thomasslakkenmeel werd gebruikt, dat later werd vervangen door Superfosfaat en fosfaat uit mengmeststoffen.

Figuur 6 geeft het landelijk fosfaatkunstmestverbruik vanaf 1910. Vanaf 1950 is ook het verbruik in de zandgebieden weergegeven. Voor 1950 zijn geen afzonderlijke cijfers voor de zandgebieden bekend. Tussen 1950 en 1960 is het fosfaatkunstmestgebruik in de zandgebieden wat hoger geweest dan in de rest van Nederland (figuur 6), waarschijnlijk doordat aan de in cultuur gebrachte woeste gronden (jonge ontginningsgronden) extra fosfaat is toegediend om de fosfaattoestand op het gewenste peil te brengen. Dit geldt waarschijnlijk ook voor de periode vóór 1950.

De cijfers over het kunstmestgebruik in de zandgebieden *na 1950* zijn afkomstig van het boekhoudnet van het LEI. Van de deelnemende bedrijven wordt gedetailleerde informatie bijgehouden over de kosten en opbrengsten per bedrijf. Uit de hoeveelheid aangekochte kunstmeststoffen is het gebruik van zuivere meststoffen (waaronder P_2O_5) per ha cultuurgrond berekend. Een beperking van deze gegevens is dat de verdeling over gras- en bouwland niet bekend is. Een uitzondering vormt het boekjaar 1979/'80, waarin Wijnands en Luesink (1983) met behulp van een model en een aanvullende enquête, informatie over het fosfaatkunstmestgebruik per bodemgebruik hebben verzameld.

De samenstelling van de boekhoudbedrijven is zodanig dat er vanuitgegaan mag worden gegaan dat de uitkomsten van het boekhoudnet, waarmee het gemiddelde fosfaatkunstmestgebruik in het zandgebied is berekend, een representatief beeld geven. Bij het zandgebied is ook het Noordelijk Zandgebied inbegrepen omdat de uitkomsten van dit gebied in de publikaties van het LEI niet apart zijn onderscheiden van de overige zandgebieden.

In de periode 1950-1965 zijn de resultaten van de boekhoudbedrijven gepubliceerd in het 'Statistisch overzicht van de uitkomsten van landbouwbedrijven' (Hupkes en Van Riemsdijk, 1952; Kuperus, 1957 en Bogaerds, 1961). Er worden drie bedrijfstypen onderscheiden: akkerbouw-, weidebedrijven en gemengde bedrijven. Voor de

zandgebieden zijn alleen de resultaten van de gemengde bedrijven opgenomen, omdat dit bedrijfstype er het meest voorkomt. Verder is een onderverdeling gemaakt naar bedrijfsgrootte (oppervlakteklasse) en regio (provincies of delen daarvan). Het gebruik van fosfaatkunstmest varieert weinig (aanhangsel 1). Daarom is in de modelberekeningen volstaan met één gemiddelde waarde per boekjaar (tabel 28).

Na 1965 zijn de resultaten gepubliceerd in de reeks 'Bedrijfsuitkomsten in de landbouw' (LEI, 1965-1987). Afgezien van de gemengde bedrijven, is de indeling naar bedrijfstype ongewijzigd gebleven. De groep van gemengde bedrijven is verder onderverdeeld in overwegend akkerbouw-, overwegend rundvee- en intensieve veehouderijbedrijven. Behalve voor gemengde bedrijven wordt nu ook informatie over de weidebedrijven in de zandgebieden gegeven. Afhankelijk van het bedrijfstype, wordt het zandgebied onderverdeeld in een Noordelijk, Oostelijk, Centraal en Zuidelijk deel. De bedrijfsomvang wordt bepaald aan de hand van het aantal standaard bedrijfseenheden (sbe), waarbij grote bedrijven (> 123 sbe) en kleine bedrijven (< 123 sbe) worden onderscheiden. Aanhangsel 2 geeft van de grote bedrijven, die 73% van het totale landbouwareaal uitmaken (boekjaar 1980/1981), het gebruik van fosfaatkunstmest. De kleine bedrijven wijken hierin niet veel af. Uit aanhangsel 2 blijkt dat op de gemengde bedrijven met overwegend akkerbouw meer fosfaatkunstmest wordt gebruikt dan op de overige bedrijfstypen. Behalve dat er op deze bedrijven minder dierlijke mest aanwezig is, speelt ook de grotere fosfaatbehoefte van de akkerbouwgewassen een rol. Op de bedrijven met intensieve veehouderij is het gebruik van fosfaatkunstmest laag omdat met dierlijke mest ruimschoots aan de behoefte kan worden voldaan. De regionale verschillen in het gebruik van fosfaatkunstmest zijn over het algemeen gering. Het grootste verschil wordt bij de intensieve veehouderijbedrijven gevonden waar het gebruik van fosfaatkunstmest in het Zuidelijk Zandgebied ca. 10 kg/ha P_2O_5 hoger ligt dan in het overige zandgebied. Omdat ook hier de regionale verschillen en de verschillen tussen bedrijfstypen gering zijn, is met één gemiddelde waarde voor het gehele zandgebied gerekend (tabel 28).

Tabel 28 *Gemiddelde fosfaatkunstmestgebruik in het zandgebied¹⁾, periode 1950/1951-1985/1986²⁾*

Boekjaar	Fosfaatkunstmestgebruik (kg P_2O_5 per ha)
1950/1951	64
1955/1956	63
1960/1961	48
1965/1966	41
1970/1971	33
1975/1976	25
1980/1981	28
1985/1986	34

¹⁾ Inclusief het Noordelijk Zandgebied

²⁾ Bronnen: Hupkes en Van Riemsdijk (1952), Kuperus (1957), Bogaerds (1961) en LEI (1965-1985)

Het fosfaatkunstmestgebruik in het zandgebied in de periode 1950-1985 is met ongeveer de helft afgenomen (tabel 28). Wegens het ontbreken van gegevens per bodemgebruiksvorm, is met één gemiddelde waarde gerekend. Voor de tussenliggende boekjaren zijn geïnterpoleerde waarden gebruikt. Uit het onderzoek van Wijnands en Luesink (1983) zijn aanwijzingen dat er op maïsland meer kunstmestfosfaat is gebruikt dan op grasland. Uit dit onderzoek, in het boekjaar 1979/1980, blijkt dat in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied op bouwland, waarvan het grootste deel uit maïsland bestaat, 30 kg P_2O_5 per ha is gegeven, tegen 15 kg P_2O_5 per ha op grasland. Op maïsland wordt extra fosfaat via kunstmest gegeven ondanks de hoge dierlijke mestgiften, omdat de dierlijke mest, die wordt ondergeploegd, in de beginfase van de groei nog niet direct beschikbaar is (Padmos, 1979).

4.4 Afvoer via gewas

Bouwlandgewassen

De fosfaatonttrekking van bouwlandgewassen varieert per gewas en is in de loop der tijd toegenomen door de gestegen gewasopbrengsten. De fosfaatonttrekking van de meeste bouwlandgewassen is sinds 1950 met een factor 1,5 tot 2 toegenomen (tabel 29).

Tabel 29 Fosfaatonttrekking van bouwlandgewassen in de periode 1950-1990

Gewas	Fosfaatonttrekking (kg P_2O_5 per ha)				
	1950 ¹⁾	1960 ²⁾	1970 ³⁾	1980 ⁴⁾	1990 ⁵⁾
<i>granen</i>					
tarwe	34	40	56	56	69
rogge	25	30	32	31	39
gerst	27	30	44	42	55
haver	35	35	48	46	61
Rekenkundig gemiddelde	30	34	45	44	56
<i>hakvruchten</i>					
aardappelen	36	40	55	55	62
suikerbieten	82	90	102	94	101
voederbieten	72	80	76	-	-
snijmaïs	-	-	-	73	81

Bronnen: ¹⁾ Proefstation voor de akker- en weidebouw (1959)
²⁾ Proefstation voor de akker- en weidebouw (1961)
³⁾ Proefstation voor de akker- en weidebouw (1967)
⁴⁾ Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond (1981)
⁵⁾ Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond (1989)

In de periode vóór 1970 is voor de bouwlandgewassen met één gemiddeld onttrekkingscijfer gerekend (tabel 30). Hierbij is gewogen met de oppervlakte in 1960/'61. Voor de graangewassen is één rekenkundig gemiddelde gebruikt, omdat de oppervlakteverdeling van de afzonderlijke graangewassen niet beschikbaar was. Na 1970 zijn de gewasgroepen onderscheiden uit het LEI-model: maïs, hakvruchten, granen en overige bouwlandgewassen. Voor de fosfaatonttrekking is de gemiddelde waarde van de cijfers uit 1980 en 1990 gebruikt (tabel 31). De onttrekkingscijfers zijn bepaald bij een goede gewasopbrengst. Maar door variaties in de gewasopbrengst kunnen de werkelijke waarden hoger of lager zijn geweest.

Tabel 30 *Procentuele oppervlakteverdeling, de fosfaatonttrekking van de belangrijkste bouwlandgewassen in het zandgebied en de oppervlakte gewogen gemiddelde fosfaatonttrekking in 1950, 1960 en 1970.*

Gewas	Oppervlakte- percentage in 1960/1961 ¹⁾	Fosfaatonttrekking (kg P ₂ O ₅ per ha)		
		1950	1960	1970
granen	72	30	34	45
aardappelen	14	36	40	55
suikerbieten	4	82	90	102
voedergewassen	10	72	80	76
Oppervlakte gewogen gemiddelde		37	42	52

¹⁾ Bron: Bogaerds (1961)

Tabel 31 *Fosfaatonttrekking van bouwlandgewassen na 1970*

Gewas	Fosfaatonttrekking (kg P ₂ O ₅ per ha)		
	1980 ¹⁾	1990 ²⁾	gemiddelde 1980-1990
maïs	73	81	77
hakvruchten	75	82	78
granen	44	56	50
overige landbouwgewassen			64 ³⁾

¹⁾ Bron: Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond (1981)

²⁾ Bron: Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond (1989)

³⁾ gemiddelde van granen en hakvruchten

Grasland

De fosfaatonttrekking van grasland is sterk afhankelijk van de droge stofopbrengst, die sterk varieert ten gevolge van verschillen in stikstofbemesting en gebruikssysteem (bijv. weiden, maaien of een combinatie van beide) (Evers, 1991). Ook de fosfaatonttrekking van grasland is sinds 1950 sterk toegenomen. In 1950 was de (oppervlakte

gewogen gemiddelde) fosfaatonttrekking 36 kg/ha P_2O_5 (tabel 32), terwijl bij de huidige stikstofgiften met een gemiddelde onttrekking van ca. 100 kg/ha P_2O_5 moet worden gerekend (tabel 33).

Tabel 32 Fosfaatonttrekkingsnormen voor grasland bij verschillende gebruikssystemen (1950)¹⁾

Gebruikssysteem	Fosfaatonttrekking (kg P_2O_5 per ha)	Oppervlakte percentage ²⁾
onbeperkt weiden	20-30	53
1 keer maaïen en weiden	40-50	37
2 keer maaïen en weiden	60-70	10
gemiddelde ³⁾	36	

¹⁾ Bron: Koopmans (1960)

²⁾ De procentuele oppervlakte met een bepaald graslandgebruik (de cijfers gelden voor zandgronden in 1950)

³⁾ oppervlaktegewogen gemiddelde

Tabel 33 Fosfaatonttrekking van grasland¹⁾ bij verschillende gebruikssystemen, bij een stikstofgift van 400 kg/ha N en 3 à 3,5 g.v.e./ha²⁾

Gebruikssysteem	Fosfaatonttrekking (kg P_2O_5 per ha)
alleen maaïen	115
onbeperkt weiden	92
beperkt weiden	92

¹⁾ uitkomsten van modelberekeningen (bron: Evers, 1991)

²⁾ grootvee-eenheid

Met deze gegevens is een globale schatting gemaakt van de fosfaatonttrekking na 1950. Hierbij is aangenomen dat de toename lineair is geweest en na 1985 constant is gebleven op een waarde van 100 kg/ha P_2O_5 (tabel 34).

Tabel 34 Geschatte fosfaatonttrekking van grasland in de periode 1950-1990

Jaar	Fosfaatonttrekking (kg/ha P_2O_5)
1950	36
1955	47
1960	57
1965	68
1970	78
1975	89
1980	99
1985	100
1990	100

De werkelijke fosfaatonttrekking kan hoger of lager zijn geweest, doordat deze, naast de stikstofgift en het gebruikssysteem, mede afhangt van factoren die per jaar variëren, zoals weersomstandigheden en vochtvoorziening. Uit gegevens van Keuning (1990) van stikstofproefbedrijven blijkt bijvoorbeeld dat de fosfaatonttrekking kan variëren van 85 tot 101 kg/ha P_2O_5 .

4.5 Berekening van de fosfaatoverschotten

Periode vóór 1950

De totale fosfaatbelasting van dierlijke mest en kunstmest in de periode vóór 1950 bedroeg ca. 100 kg P_2O_5 per ha (figuur 6). De gemiddelde gewasonttrekking was in die periode lager (ca. 40 kg P_2O_5 per ha), waardoor er ook toen reeds een fosfaatoverschot was. Het grootste deel van de dierlijke mest kwam op de enkeerd- en laarpodzolgronden terecht. Dit is verdisconteerd in de hogere achtergrondgehalten (zie hoofdstuk 3). De fosfaatkunstmest werd vooral op de jonge ontginningsgronden gebruikt, waarbij ook sprake was van een fosfaatoverschot, overeenkomstig het bemestingsadvies. De hoeveelheid fosfaat is echter gering in vergelijking met de hoeveelheid die na 1950 in de bodem is terechtgekomen. Mede doordat voor een nauwkeurige schatting onvoldoende gegevens voorhanden waren, is in het model het fosfaatoverschot vóór 1950 op nul gesteld.

Periode 1950-1970

De fosfaatposten waaruit het fosfaatoverschot in de periode 1950-1970 is berekend, staan vermeld in tabel 35. De fosfaatbelasting via dierlijke mest op grasland is groter geweest dan op bouwland, voornamelijk door de mestproduktie van rundvee tijdens de weideperiode. Overigens is, zoals reeds is toegelicht in paragraaf 4.3, bij kunstmest geen onderscheid gemaakt tussen bouwland en grasland, omdat er geen aparte gegevens beschikbaar waren.

Het gemiddelde fosfaatoverschot dat in de bodem is terechtgekomen is ca. 1000 kg/ha P_2O_5 . Er is nauwelijks verschil tussen bouwland en grasland, omdat de hogere fosfaatbelasting van grasland grotendeels wordt gecompenseerd door de hogere fosfaatafvoer via het gewas.

Uit deze cijfers blijkt dat reeds vóór 1970 hogere fosfaatgiften zijn gegeven dan de gewasonttrekking. Dit wordt bevestigd door de uitkomsten van een praktijkonderzoek van de Landbouwvoorlichtingsdienst uit de periode 1953-1958 (Wijdeven, 1960).

Tabel 35 Gemiddelde fosfaatbalans van bouwland en grasland in de periode 1950-1970

Bodemgebruik	Balanspost (kg P_2O_5 per ha)			
	fosfaataanvoer		fosfaatafvoer via gewas	fosfaat- overschot
	via dierlijke mest	via kunstmest ¹⁾		
bouwland	860	1003	865	998
grasland	1190	1003	1140	1053

¹⁾geen onderscheid gemaakt tussen bouwland en grasland

Bij de vergelijking van de adviesgift met de werkelijke gift bij 122 landbouw-bedrijven in midden Noord-Brabant bleek dat er gemiddeld 53 kg P_2O_5 per ha teveel werd gegeven. Gerekend over een periode van 20 jaar (1950-1970) komt dit neer op ruim 1000 kg P_2O_5 per ha, hetgeen goed overeenkomt met de berekende cijfers (tabel 35). Verder had het bemestingsadvies weinig effect op de te hoge fosfaatgiften. Uit praktijkgegevens van 1958 van zes bedrijven op de West-Veluwe (Van de Brink en Zonnenberg, 1960) komt hetzelfde beeld naar voren. Bij deze bedrijven leidde de mestproduktie van de eigen veestapel reeds tot fosfaatoverschotten, terwijl er desondanks toch nog kunstmest werd aangekocht. Het bemestingsadvies werd alleen toegepast in het jaar waarin de percelen werden onderzocht, maar in de daaropvolgende jaren werden de traditionele, te hoge, normen weer aangehouden. De resultaten van het onderzoek zijn reeds toen aanleiding geweest om behalve bemestingsadviezen, ook mestbalansen op te stellen om op die manier rekening te houden met de mineralenproduktie op het eigen bedrijf.

Met het overschot van 1000 kg P_2O_5 per ha, het natuurlijke fosfaatgehalte in de bodem en het fosfaatbindend vermogen (resp. tabel 13 en 10 uit hoofdstuk 3) is de fosfaatverzadigingsgraad van de meest voorkomende bodemeenheden in 1970 berekend (tabel 36). Behalve de zwarte enkeerdgronden en laarpodzolgronden op grondwatertrap V/V* en VI die reeds "van nature" fosfaatverzadigd zijn (tabel 14, hoofdstuk 3), zijn nu ook de vlakvaaggronden op Gt III/III*, V/V* en VI verzadigd. De toename van de fosfaatverzadigingsgraad in de periode tussen 1950 en 1970 is het grootst bij natte en matig natte grondwatertrappen (III/III*, V/V* en VI) en komt doordat het fosfaatbindend vermogen relatief laag is.

Tabel 36 Gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad in 1970 van de meest voorkomende combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen

Bodemeenheid	Fosfaatverzadigingsgraad (%)				
	III/III*	V/V*	VI	VII	VII*
zwarte enkeerdgronden	-	46	42	28	24
laarpodzolgronden	-	40	32	23	21
veldpodzolgronden	20	17	15	13	13
beekeerdgronden	21	20	19	-	-
vlakvaaggronden	36	28	27	23	22

Periode 1970-1990

Voor de periode 1970-1990 heeft het LEI-DLO de *jaarlijkse* fosfaatbelasting per cel berekend, waarbij vijf gewasgroepen zijn onderscheiden. De *cumulatieve* fosfaatbelasting in deze periode is berekend door per gewasgroep de jaarlijkse fosfaatbelasting te sommeren. Hierbij is aangenomen dat er op perceelsniveau geen omwisseling van gewassen heeft plaatsgevonden. Uit veldonderzoek in Overijssel van Hack-ten Broeke et al. (1990) blijkt echter dat in de praktijk een sterke wisseling van het bodemgebruik voor kan komen. De invloed hiervan op de modeluitkomsten wordt in hoofdstuk 6 nader besproken.

Op celniveau is er wel informatie aanwezig waaruit ontwikkelingen in het bodemgebruik kunnen worden afgeleid en waarmee bij het berekenen van de cumulatieve

belasting rekening is gehouden. Uit het jaarlijks verloop van de procentuele oppervlakteverdeling van de gewasgroepen blijkt dat de sterke toename van het maïslandareaal in de meeste cellen ten koste van het overig bouwlandareaal is gegaan, terwijl de laatste jaren ook steeds meer grasland in maïsland is omgezet. Daarnaast vinden er op beperktere schaal ook omzettingen tussen andere gewasgroepen plaats.

Bij een toename van het gewasareaal heeft de oppervlakte die erbij gekomen is, een andere bemestingsgeschiedenis dan het oorspronkelijke areaal. De cumulatieve fosfaatbelasting van dit areaal is afhankelijk van de herkomst. De herkomst is bepaald aan de hand van wijzigingen in de procentuele oppervlakteverdeling van de gewasgroepen. Hierbij zijn drie toewijzingsronden onderscheiden. In de eerste ronde wordt maïsland in beschouwing genomen. Bij een toename van het (procentuele) areaal, wordt aangenomen dat dit afkomstig is van de bouwlandgewassen waarvan het oppervlaktepercentage is afgenomen. Het eventueel resterende deel wordt verondersteld afkomstig te zijn van grasland. Bij een afname van het maïsareaal, wat overigens op celniveau niet vaak blijkt voor te komen, vindt het omgekeerde plaats: maïs wordt eerst omgezet in bouwland en het eventueel resterende deel in grasland. In de tweede ronde komt de omwisseling van het eventueel resterende areaal grasland aan bod. Omdat de omwisseling met maïsland in de eerste ronde is verdisconteerd, blijft in deze ronde alleen de omwisseling met bouwland over. Tenslotte worden in de derde ronde de eventuele onderlinge wijzigingen in de bouwlandarealen met elkaar verrekend.

De cumulatieve fosfaatbelasting in de periode 1971-1990 is bepaald door de jaarlijkse belasting te sommeren met de cumulatieve belasting in voorgaande jaren. Als er sprake is van een toename van het gewasareaal, wordt de cumulatieve fosfaatbelasting in twee stappen berekend. In de eerste stap wordt de cumulatieve fosfaatbelasting van het bijgekomen areaal berekend. Deze is de som van het oppervlakte gewogen gemiddelde van de gewasgroepen waarvan het areaal afkomstig is. In de tweede stap wordt de cumulatieve fosfaatbelasting van het totale gewasareaal via het oppervlaktegewogen gemiddelde van het oorspronkelijke areaal en het bijgekomen areaal berekend. Bij maïsland waarvan het areaal in de meeste cellen jaarlijks is toegenomen, varieert de cumulatieve fosfaatbelasting met het jaar van aanleg. Hiermee is rekening gehouden door de cumulatieve fosfaatbelasting per jaar apart bij te houden.

Tabel 37 Gemiddelde fosfaatbalans per gewasgroep in de periode 1970-1990

Bodemgebruik	Balanspost (kg P ₂ O ₅ per ha)			
	fosfaataanvoer		fosfaatafvoer via gewas	fosfaat- overshot
	via dierlijke mest	via kunstmest ¹⁾		
grasland	3029	603	1790	1842
maïsland	6936	603	1540	5999
hakvruchten	2748	603	1560	1791
granen	2174	603	1000	1777
overige landbouw- gewassen	2790	603	1280	2113

¹⁾ één gemiddelde waarde voor alle bodemgebruiksvormen

Tabel 37 geeft behalve het gemiddelde fosfaatoverschot per gewasgroep ook de totale fosfaatbelasting via dierlijke mest en kunstmest, en de gewasonttrekking per gewasgroep. Hieruit blijkt dat de fosfaatbelasting via dierlijke mest bij maïsland twee keer zo groot is als bij grasland. Dit komt doordat voor maïsland een veel hoger maximum bemestingsniveau is ingesteld dan voor grasland (par. 4.2.1). Verder blijkt dat de fosfaatoverschotten van hakvruchten, granen en overige landbouwgewassen weinig van elkaar verschillen, doordat op celniveau de jaarlijkse arealen vrij sterk variëren, waardoor in het model regelmatig met een omwisseling tussen de bouwlandgewassen wordt gerekend. Dit sluit aan op de gewasrotatie op perceelsniveau in de praktijk.

In vergelijking met de periode vóór 1970, is de fosfaatbelasting van het gras- en bouwland via dierlijke mest sterk gestegen. Bij grasland is de fosfaatbelasting met een factor 2,5 toegenomen en bij bouwland (c.q. maïsland) zelfs met een factor 8. Tegelijkertijd is het fosfaatkunstmestverbruik met ca. 40% afgenomen.

Het totale fosfaatoverschot in de periode 1950-1990 bedraagt bij grasland ca. 2900 kg P_2O_5 per ha, bij maïsland ca. 7000 kg P_2O_5 per ha en bij de overige bouwlandgewassen ca. 3000 kg P_2O_5 per ha (tabel 38). Uit Reijerink en Breeuwsma (1992) blijkt dat er grote regionale verschillen zijn. Gebieden met hoge fosfaatoverschotten blijken vooral in de Gelderse Vallei, Oost-Brabant en Westelijk Noord-Limburg voor te komen, terwijl in West-Brabant en de Utrechtse Heuvelrug relatief lage fosfaatoverschotten voorkomen.

Tabel 38 *Gemiddeld fosfaatoverschot in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied in de periode 1950-1990*

Gewas	Fosfaatoverschot (kg P_2O_5 per ha)
grasland	2895
maïsland	6997
hakvruchten	2789
granen	2775
overige landbouwgewassen	3111

Frequentieverdeling van de cumulatieve fosfaatbelasting

In één van de rekenvarianten in Reijerink en Breeuwsma (1992) is rekening gehouden met de spreiding in de fosfaatbelasting (zie hoofdstuk 2). In deze subparagraaf wordt de berekening van de frequentieverdeling van de fosfaatbelasting die in deze variant gebruikt is, toegelicht.

In de standaardberekeningen is met de gemiddelde fosfaatbelasting per cel gerekend, terwijl de fosfaatbelasting een zekere spreiding heeft door verschillen in bemestingsniveau tussen bedrijven. Hoewel er ook verschillen tussen percelen van hetzelfde bedrijf voorkomen, is dit wegens het ontbreken van perceelsinformatie niet in de berekeningen meegenomen. Om het effect van de spreiding in de fosfaatbelasting op de modeluitkomsten na te gaan, heeft het LEI-DLO uit de bedrijfsgegevens de frequentieverdeling per cel berekend. Hierbij zijn per cel 10 percentielpunten

(20%,30%,...,90%, 95% en 100%) berekend. De laatste twee percentielpunten zijn wat dichter bij elkaar genomen om te voorkomen dat extreme fosfaatbelastingen over een te groot areaal worden uitgesmeerd.

Bij de sommatie van de jaarlijkse frequentieverdelingen moet rekening worden gehouden met de mate van correlatie tussen de verdelingen. In deze variant is er vanuit gegaan dat gronden met een hoge of lage fosfaatbelasting het daaropvolgende jaar ook een resp. hoge of lage fosfaatbelasting krijgen. Deze veronderstelling is gebaseerd op het feit dat het niveau van de fosfaatbelasting voor een belangrijk deel bepaald wordt door het bedrijfstype. Hoge fosfaatbelastingen (90- en 95-percentiel-punt) komen voornamelijk bij de intensieve veehouderijbedrijven voor, terwijl lage fosfaatbelastingen veelal op rundveebedrijven betrekking hebben. Wel kunnen door wijzigingen in de bedrijfsomvang (veestapel en/of oppervlakte) verschuivingen tussen de percentielklassen voorkomen. Bovendien speelt mee dat sinds 1970 een groot aantal landbouwbedrijven is opgeheven, waarvan de landbouwgrond naar andere bedrijven is gegaan. Hiermee wordt duidelijk dat het hier slechts om een globale indruk gaat van het effect op de modeluitkomsten.

Tabel 39 *Gemiddelde percentielwaarden van de frequentieverdelingen op celniveau van het fosfaatoverschot van gras- en maïsland*

Percentiel (%)	Fosfaatoverschot (kg P ₂ O ₅ per ha)	
	grasland	maïsland
20	1736	3796
30	2097	5209
40	2313	6480
50	2510	7672
60	2721	8821
70	2986	10054
80	3378	11601
90	4062	14078
95	5447	17480
100	8287	24777

Tabel 39 geeft de per cel gemiddelde percentielwaarden van het fosfaatoverschot, die met de frequentieverdelingen op celniveau berekend zijn. Omdat de frequentieverdeling niet symmetrisch is, wijken de 50%-percentielwaarden af van de gemiddelde waarden uit tabel 38. Doordat de hoge fosfaatbelastingen jaarlijks bij elkaar zijn opgeteld, ontstaan zeer hoge fosfaatoverschotten. Bij grasland is het 100-percentiel een factor 2,8 hoger dan de gemiddelde waarde, bij maïsland is het overschot zelfs een factor 3,5 hoger. Hoewel het hier om een klein deel van het areaal gaat (5%), is het de vraag of, met name bij grasland, dergelijke extreme overschotten in werkelijkheid voorkomen.

5 ACTUALISERING GRONDWATERSTANDGEGEVENS

5.1 Inleiding

Bij het bepalen van de fosfaatverzadiging en de effecten ervan op het milieu is het van belang te beschikken over actuele informatie over de grondwaterstand, omdat deze een belangrijke invloed heeft op de fosfaatuitspoeling naar het grondwater. Vooral in situaties met hoge grondwaterstanden is de kans groot dat door de ondiepe grondwaterafvoer fosfaat in het oppervlaktewater terecht komt. In de definitie van een fosfaatverzadigde grond is hiermee rekening gehouden door de fosfaatverzadiging van de bodemlaag tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) als verzadigingscriterium te kiezen.

Voor landsdekkende informatie over de GHG is de bodemkaart, schaal 1 : 50 000 gebruikt. Deze geeft via grondwatertrappen informatie over het gemiddeld verloop van de grondwaterstand gedurende het jaar. De indeling van de grondwatertrappen is gebaseerd op combinaties van GHG en GLG (tabel 40). Dit zijn de over ten minste 8 jaar gemiddelde waarden van de HG3, resp. LG3. De HG3 en LG3 zijn de rekenkundige gemiddelden van de hoogste 3 resp. laagste 3 standen per hydrologisch jaar (1 april - 31 maart) uit langjarige waarnemingen in geheel geperforeerde, 2 à 3 m lange buizen (Steur en Heijink, 1991).

Tabel 40 Grondwatertrappenindeling op de bodemkaart, schaal 1 : 50 000 met de gemiddelde waarden voor de GHG

Grondwater-trap	GHG (cm - mv.)	GLG (cm - mv.)	Gemiddelde waarde voor de GHG ¹⁾ ("ABN-waarde")		
			aantal meetpunten	gem. (cm - mv.)	v.c. (%)
I	<25	<50	14	-5	80
II	<40	50-80	34	7	43
II*	25-40	50-80	5	32	22
III	<40	80-120	54	17	6
III*	25-40	80-120	33	32	9
IV	>40	80-120	45	56	5
V	<40	>120	30	17	18
V*	25-40	>120	42	32	9
VI	40-80	>120	151	61	2
VII	80-140	>120	99	101	2
VII*	>140	>120	50	185	2

¹⁾ Bron: Algemene Bodemkunde van Nederland (Locher en de Bakker, 1990)

Het probleem doet zich voor dat van veel kaartbladen de Gt-informatie niet meer actueel is, doordat door o.a. later uitgevoerde ontwateringswerken de grondwaterstand is gedaald. De werkelijke GHG is daardoor vaak lager dan de gemiddelde waarde van de Gt op de bodemkaart in tabel 40. De gemiddelde waarde die afkomstig is van Van der Sluijs (1990) en die in dit rapport kortweg wordt aangeduid met "ABN-

waarde", is afgeleid uit grondwaterstandreeksen van ca. 500 stambuizen. Hierbij is van elke stambuis de GHG en GLG berekend en aan de hand daarvan de grondwatertrap bepaald. Op die manier werd per Gt een "zuivere" set waarnemingen verkregen, waaruit vervolgens een gemiddelde GHG-waarde is berekend. De mediaanwaarde, die wat minder gevoelig is voor uitschieters dan de gemiddelde waarde, was niet beschikbaar. Gezien de lage variatie-coëfficiënten bij de meeste Gt's, verschilt deze waarschijnlijk weinig van de gemiddelde waarde.

De kans op gewijzigde grondwaterstanden is vanzelfsprekend het grootst bij de oudste kaartbladen. Van de 63 kaartbladen uit het zandgebied zijn er 21 meer dan 20 jaar oud. Van de overige kaartbladen zijn er 18 tussen de 10 en 20 jaar oud en 24 minder dan 10 jaar oud (situatie 1992), zie aanhangsel 3.

De voormalige Dienst Grondwaterverkenning TNO (DGV-TNO), het huidige Instituut voor Grondwater en Geo-energie (IGG-TNO), heeft onderzoek gedaan naar de grondwaterstanddaling in het zandgebied aan de hand van een tijdreeksanalyse van de grondwaterstijghoogte van 110 meetfilters uit het Archief van Grondwaterstanden (DGV-TNO, 1989). De geselecteerde filters komen hoofdzakelijk in het eerste watervoerende pakket voor, om te voorkomen dat de uitkomsten beïnvloed worden door lokale bodemomstandigheden, sloten, greppels, drainbuizen, e.d. Doordat de tijdreeksen zijn gecorrigeerd voor de natuurlijke meteorologische omstandigheden zoals droge en natte jaren, mag worden aangenomen dat de wijzigingen in de grondwaterstand die uit de tijdreeksanalyse naar voren komen, het gevolg zijn van menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek worden hier samengevat. Het zandgebied van Nederland is sinds de jaren '50 droger geworden: algemeen is sprake van een lagere grondwaterstand. De belangrijkste oorzaak voor de verdroging is de toename van waterhuishoudkundige ingrepen. Bovendien kan in sommige gebieden uitbreiding van de grondwaterwinning in diepe watervoerende pakketten een toename van de verdroging tot gevolg hebben. Een probleem hierbij is dat deze diffuse en geleidelijke veranderingen zeer moeilijk meetbaar en controleerbaar zijn. De verdroging kan groter worden door beregening, maar het effect hiervan is ondergeschikt aan de oorzaken die hiervoor genoemd zijn. In gebieden waar ruilverkavelingsprojecten zijn uitgevoerd is de grondwaterstandverlaging ca. 35 cm, en in gebieden waar geen ruilverkavelingen zijn geweest of geen invloed aanwezig is van grondwateronttrekkingen, ca. 20 cm.

Voor de actualisering van de grondwaterstandgegevens zijn de volgende alternatieven onderzocht:

- 1 Gt-informatie uit het Structuurschema LNO gebruiken. Daarmee kunnen gebieden worden gelokaliseerd waar het grondwaterregime is veranderd door verbeteringswerken bij landinrichtingsprojecten. De droogleggingsnormen die de Landinrichtingsdienst hanteert, kunnen worden gebruikt om de Gt-informatie in ruilverkavelingsgebieden globaal te actualiseren. Een probleem hierbij is dat de Landinrichtingsdienst niet nagaat of de geplande grondwaterstandwijzigingen in werkelijkheid overal zijn gerealiseerd.

- 2 Via interpolatiemethoden puntinformatie van het bestaande grondwaterstandmeetnet van IGG-TNO vertalen naar vlakinformatie. Hierbij worden gerichte opnamen uitgevoerd, waarbij de grondwaterstand éénmalig wordt opgenomen. Uit de relatie tussen de grondwaterstand en de GHG in de IGG-TNO-buizen kan de GHG van elk boorpunt worden bepaald. Door het toepassen van interpolatiemethoden kan met een minder dicht meetnet worden volstaan dan bij de gangbare methode.
- 3 Informatie over de daling van de grondwaterstand afleiden uit het eerdergenoemde verdrogingsonderzoek van DGV-TNO (1989). De gegevens in dit onderzoek zijn echter verzameld op landelijke schaal (1 : 250 000), toepassing op schaal 1 : 50 000 leidt waarschijnlijk tot te grote onzuiverheden.
- 4 Gebruik maken van Gt-informatie uit de Landelijke Steekproef van Kaarteenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000.

Er is overwogen om de actualisering van de Gt-informatie te beperken tot gebieden waar sinds de kaartopname landinrichtingsprojecten zijn uitgevoerd of waar de grondwaterstand onder invloed staat van grondwateronttrekkingen. Om twee redenen is hiervan afgezien. De eerste reden is dat ook door andere ingrepen zoals A2-werken (gesubsidieerde weg- en waterbouwwerken) en particuliere ingrepen (drainage) belangrijke grondwaterstands dalingen zijn opgetreden, waarvan de locatie noch de omvang achterhaald kan worden. Bovendien zijn de invloeden van de diverse ingrepen op de grondwaterstand vaak niet meer van elkaar te onderscheiden, waardoor het totale effect op de grondwaterstand moeilijk is te bepalen. De andere reden is dat de grenzen van gebieden met grondwateronttrekking moeilijk zijn vast te stellen, omdat deze, behalve door geohydrologische omstandigheden, mede bepaald worden door de (toenemende) hoeveelheid grondwater die wordt onttrokken. De effecten hiervan op de grondwaterstand zijn niet eenvoudig aan te geven. Algemeen kan gesteld worden dat de ingrepen in de ontwatering erin geresulteerd hebben dat er op de meeste landbouwgronden geen wateroverlast meer voorkomt en dat grondwatertrap III en V (GHG < 25 cm - mv.) minder voorkomen (Van Bakel, pers. med.).

Van de bovengenoemde alternatieven bleken de alternatieven 2 en 4 in principe de beste mogelijkheden te bieden om op korte termijn geactualiseerde GHG-gegevens te verkrijgen. Voordat de resultaten van de actualisering worden toegelicht, wordt in de volgende paragraaf eerst ingegaan op de GHG-gegevens uit het BIS. Deze gegevens zijn in het voorgaande onderzoek (Breeuwsma et al., 1990) gebruikt en vormden het uitgangsmateriaal vóór de actualisering.

5.2 GHG-gegevens uit het Bodemkundig Informatie Systeem

De GHG-gegevens in het BIS zijn afkomstig van boorstaten, diepboringen en profielbeschrijvingen. Een boorstaat beschrijft een boring vanaf maaiveld tot een diepte van meestal 120 cm - mv. Er wordt een beschrijving gemaakt van de profielopbouw waarbij behalve bodemkenmerken zoals organische-stofgehalte, lutum en zandgrofheid, ook de GHG wordt geschat aan de hand van profiel- en veldkenmerken.

De in het BIS opgenomen boorstaten zijn afkomstig van enkele landinrichtingsprojecten. Diepboringen dienen om extra informatie te geven van de diepere ondergrond. De diepboringen die in het BIS zijn opgeslagen komen niet evenredig verdeeld over Nederland voor: alleen de 1 : 50 000 kaartbladen 32O, 40W en O, 44O en 51O zijn vertegenwoordigd. Profielbeschrijvingen zijn bedoeld als uitgebreide kwantitatieve documentatie van een punt. De profielbeschrijvingen die in het BIS zijn opgeslagen, zijn redelijk evenredig verdeeld, behalve voor het stroomgebied van de Schuitenbeek en de regio rond Wesepe waarin een belangrijk deel van de waarnemingen (12%) geconcentreerd is. De meeste gegevens uit het BIS dateren uit de periode van na 1980 (ca. 70%) waarbij de jaren 1980 en 1981 met 54% van de waarnemingen zijn oververtegenwoordigd.

Uit het BIS zijn de boorpunten in zandgrond geselecteerd en is via de coördinaten de Gt van het kaartvlak op de bodemkaart 1 : 50 000 bepaald. Vervolgens is per Gt de mediaanwaarde van de GHG berekend (tabel 41).

De GHG uit het BIS is meestal lager dan de ABN-waarden (tabel 41). Dit is niet alleen het gevolg van de gedaalde grondwaterstand, maar ook zijn naast de gegevens van zuivere Gt's (die met de Gt van het kaartvlak overeenkomen) gegevens van andere (onzuivere) Gt's meegenomen. Waarschijnlijk wordt hiermee verklaard dat de GHG van Gt VII wat lager is dan die van Gt VII*.

Een probleem bij het gebruik van de BIS-gegevens is dat niet bekend is in welke mate de uitkomsten representatief zijn voor het zandgebied, aangezien sommige gebieden zijn oververtegenwoordigd. Bovendien is het de vraag in hoeverre ze een beeld geven van de actuele situatie. Omdat een groot deel van de gegevens meer dan 10 jaar oud is, bestaat de kans dat de gevonden GHG-waarden te hoog zijn.

Tabel 41 Mediaanwaarde (cm - mv.) van de GHG berekend met gegevens uit het BIS in vergelijking met de ABN-waarde en het verschil tussen beide, per grondwatertrap

Grondwater-trap	Aantal meetpunten	Mediaanwaarde uit het BIS (1)	ABN-waarde (2)	Vershil (1) - (2)
I	0	-	-5	-
II	337	21	7	14
II*	4	39	32	7
III	1792	28	17	11
III*	114	32	32	0
IV	123	34	56	-22
V	756	33	17	16
V*	168	44	32	12
VI	507	54	61	-7
VII	439	134	101	33
VII*	146	126	185	-59

5.3 Grondwaterstandgegevens van IGG-TNO-buizen

In deze paragraaf wordt de actualisering van de GHG-gegevens via meetgegevens van grondwaterstandbuizen van IGG-TNO toegelicht. Voor deze studie was het niet mogelijk om, zoals in alternatief 2 is aangegeven (par. 5.1), aanvullende informatie via gerichte opnamen en interpolatiemethoden te verzamelen. Daarom is alleen van de gegevens van de buizen zelf gebruik gemaakt.

5.3.1 Selectie van grondwaterstandbuizen

Het grondwatermeetnet van IGG-TNO bestaat uit grondwaterstandbuizen verspreid over heel Nederland. In dit onderzoek zijn alleen de buizen uit het Noordelijk, Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied gebruikt. In het databestand (OLGA) van IGG-TNO zijn behalve algemene gegevens zoals x,y-coördinaten, maaivelds-ligging e.d., de grondwaterstanden opgeslagen die om de 14 dagen (rond de 14^e en 28^e van de maand) zijn opgenomen. De GHG is berekend met het programma GRWTRAP van DLO-Staring Centrum. In dit programma wordt eerst de HG3 berekend als het rekenkundig gemiddelde van de hoogste drie gemeten standen van het winterhalfjaar (oktober t/m maart). Vervolgens wordt de GHG berekend uit het gemiddelde van de HG3-waarden van een aaneengesloten periode van 8 jaar. Voor de actuele GHG (1990) is de meetreeks uit de periode 1980/1981-1990/1991 gebruikt.

Tabel 42 Selectiecriteria grondwaterstandbuizen IGG-TNO

Selectiecritrium	Aantal buizen	
	uit bestand verwijderd	overblijvende aantal
1^e selectie door IGG-TNO:		
- buizen op de kaartbladen van het Noordelijk, Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied.		
- landbouwbuizen en peilbuizen met filter niet dieper dan 8 m.		
- bij meer dan één peilbuis op één locatie: selecteer buis met het ondiepste filter.		
- vanaf 1 april 1980: gedurende tenminste 4 jaar, minimaal 9 waarnemingen in de winterperiode (1-10 tot 1-4)	-	4724
2^e selectie door DLO-Staring Centrum:		
- verschil tussen HG3-metingen > 2 m	603	4121
- buizen in klei- en veengronden (vlg bodemkaart 1 : 50 000)	1284	2837
Buizen met extreme GHG-waarden:		
- buizen in kaartvlak met Gt-associaties	127	2710
- niet-representatieve ligging t.o.v. kaartvlak op de bodemkaart)	317	2393

Niet alle buizen zijn geschikt voor het bepalen van de GHG. Aan de hand van een aantal criteria (zie tabel 42) heeft IGG-TNO de bruikbare buizen geselecteerd. De filterdiepte van de buizen mag niet dieper dan 8 meter zijn omdat anders het risico bestaat dat schijngrondwaterstanden, die ontstaan bij slecht doorlatende lagen in de ondiepe ondergrond, niet worden geregistreerd. Bovendien is, voor een betrouwbare bepaling van de HG3-waarden, als eis gesteld dat er in de winterperiode voldoende (minimaal 9) waarnemingen zijn en dat vanaf 1980 vier winterperiodes vertegenwoordigd zijn.

Bij de verwerking van de meetgegevens bleek dat bij sommige buizen de meetreeks wellicht niet betrouwbaar is vanwege een sterke fluctuatie in de HG3-waarden (> 2 m). Deze buizen zijn buiten beschouwing gelaten. Van de overgebleven buizen is via een overlay met de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, de bodemeenheid en Gt bepaald en zijn de buizen die niet op een zandgrond liggen (1284), uit het bestand verwijderd. Van de overgebleven buizen (2837) is de GHG berekend en is gekeken of er extreme waarden voorkomen. Tabel 43 geeft de GHG-waarden waarboven de GHG niet acceptabel is geacht (extreme waarden).

Tabel 43 Grenswaarden voor de GHG waarboven de GHG niet acceptabel is geacht (extreme waarden)

Gt	I	II(*)	III(*)	IV	V(*)	VI	VII(*)
GHG (cm)	40	40	100	100	100	180	240 ¹⁾

¹⁾ bij deze Gt zijn GHG-waarden ondieper dan 40 cm ook als niet acceptabel gekwalificeerd

Deze controle leverde 444 buizen op. Hiervan kwamen er 127 in kaartvlakken met Gt-associaties voor. Bij de overige buizen bleek sprake te zijn van een "ongunstige" ligging zoals erven, bermen, dijken, bebouwing e.d., waardoor de gemeten GHG niet representatief is voor de omgeving.

Tabel 44 Ligging van de grondwaterstandbuizen met extreme GHG-waarden

Ligging	Aantal buizen
- onder invloed van een pompstation	87
- erf	77
- berm/dijk/spoorbaan/vlakbij bebouwing	78
- sport en recreatieterrein (zwembad, bos e.d.)	13
- bij afwateringsloot of -kanaal	29
- bebouwing volgens recente top. kaart	25
- bijzondere bebouwing	5
- rond vennen in bos bij Leersum (stagn. water)	3
- groot verschil is onverklaarbaar	31
Totaal:	317

Veel van deze buizen (87) komen in de directe omgeving (binnen een straal van ca. 2 km) van een pompstation voor (tabel 44). Bij 31 buizen kon geen verklaring worden

gevonden voor de extreme GHG-waarden; deze zijn evenals de overige buizen, buiten beschouwing gelaten. Uiteindelijk zijn er van de 4724 buizen 2393 buizen overgebleven (ca. 50%), waarvan verwacht werd dat deze een betrouwbaar beeld zouden geven van de actuele GHG.

5.3.2 GHG

Tabel 45 geeft per Gt de GHG die uit de meetgegevens van de IGG-TNO buizen is berekend naast de ABN-waarden.

Behalve bij Gt VII* is ook de GHG van de IGG-TNO buizen lager is dan de ABN-waarde (tabel 45). De waarden zijn eveneens lager dan de GHG uit het BIS (tabel 41), mogelijk doordat de IGG-TNO-gegevens actueler zijn of doordat er systematische afwijkingen zijn door verschillen in bepalingsmethode. Evenals bij de BIS-gegevens speelt ook hier mee dat een deel van de waarnemingen in onzuivere delen van het kaartvlak voorkomt. Mede daardoor is de variatie-coëfficiënt groter dan die van de gemiddelde waarden. Een andere oorzaak is dat de buizen zijn ingedeeld bij de grondwatertrap die op de bodemkaart is aangegeven. Door de gedaalde grondwaterstand hoeft de kaart-Gt niet meer overeen te komen met de actuele grondwatertrap.

Tabel 45 *Mediaanwaarden van de GHG (cm - mv.) in 1990, afgeleid uit meetgegevens van de IGG-TNO grondwaterstandbuizen, de ABN-waarde en het verschil tussen beide per grondwatertrap.*

Gt	GHG van de IGG-TNO buizen			ABN-waarde ¹⁾	Verschil
	n	med (1) (cm - mv.)	v.c. (%)	(2) (cm)	(1) - (2)
I	16	17	60	-5	22
II	118	26	59	7	19
II*	10	41	43	32	9
III	212	52	49	17	35
III*	130	69	34	32	37
IV	94	69	28	56	13
V	217	52	54	17	35
V*	168	69	37	32	37
VI	781	90	43	61	29
VII	488	152	52	101	51
VII*	159	166	51	185	-19

¹⁾ Bron: Locher en de Bakker (1990)

Om uit te sluiten dat er, ondanks de selectie, buizen zijn met onbetrouwbare meetgegevens, zijn de meetgegevens van de kroonstambuizen apart geselecteerd. Kroonstambuizen liggen op plaatsen die een betrouwbaar beeld geven van de fluctuatie van de grondwaterstand en een representatieve ligging hebben ten opzichte van hun omgeving. Ze worden in de gerichte opname gebruikt om het tijdstip te

bepalen waarop de grondwaterstand op GHG-niveau ligt (monitoring). Op dat moment wordt in vooraf aangelegde boorgaten elders in het karteringsgebied de grondwaterstand gemeten, waarvan verondersteld wordt dat deze ook op GHG-niveau ligt.

De kroonstambuizen geven inderdaad andere GHG-waarden (tabel 46). Bij de meeste Gt's is de GHG hoger. Afgezien van grondwatertrap IV en VII* waar slechts 1 en 2 stambuizen voorkomen, varieert het verschil tussen -1 en -39 cm.

Tabel 46 *Mediaanwaarden van de GHG in 1990, afgeleid uit de meetgegevens van de kroonstambuizen, van alle buizen en het verschil tussen beide*

Gt	Aantal buizen bij (1)	GHG van de kroon- stambuizen (cm - mv.) (1)	GHG van alle buizen (cm - mv.) (2)	Vershil (cm) (1) - (2)
I	0	-	17	-
II	14	19	26	-7
II*	4	42	41	-1
III	17	36	52	-16
III*	10	69	69	0
IV	1	70	69	1
V	11	47	52	-5
V*	11	42	69	-27
VI	53	70	90	-20
VII	19	113	152	-39
VII*	2	68	166	-98

Om het effect van de grondwaterstands daling zoveel mogelijk uit te sluiten, zijn van de kroonstambuizen op de kaartbladen van na 1980 de GHG-mediaanwaarden bepaald voor het jaar waarin de veldopnamen zijn afgesloten. Hierdoor wordt zo dicht mogelijk aangesloten bij de grondwaterstanden uit de periode van de kaartblad-opname. De GHG-waarden komen alleen bij Gt II en V* redelijk overeen met de ABN-waarden (tabel 47). Bij de overige Gt's worden toch nog grote afwijkingen gevonden (10-33 cm) dit kan het effect zijn van het vóórkomen van kroonstambuizen op onzuiverheden binnen het kaartvlak, maar ook is het mogelijk dat de kroonstambuizen niet meer betrouwbaar zijn. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de kwalificatie kroonstambuis niet meer actueel is. De kwaliteit van de buizen wordt middels een (eenmalig) veldbezoek vastgesteld en is dus een momentopname. Doordat de omstandigheden sindsdien gewijzigd kunnen zijn (bijv. door de aanleg van een weg of een sloot) bestaat de mogelijkheid dat een deel van de buizen nu niet meer voor een dergelijke kwalificatie in aanmerking komt.

De conclusie is dat de gegevens van de IGG-TNO buizen geen betrouwbare GHG-waarden opleveren. Afgezien van de grondwaterstanddaling, bestond het vermoeden dat de niet-representatieve ligging van de buizen er de oorzaak van is dat de GHG lager is dan op grond van de Gt van het kaartvlak wordt verwacht.

Tabel 47 *Mediaanwaarden van de GHG bij de afsluiting van de veldopname van de kroonstambuizen op de kaartbladen uit de periode 1980-1990*

Gt	Aantal buizen bij (1)	GHG van de kroon- stambuizen (cm - mv.) (1)	ABN- waarde (cm - mv.) (2)	Vershil (cm) (1) - (2)
I	0	-	-5	-
II	3	4	7	3
II*	4	21	32	11
III	5	35	17	18
III*	10	65	32	33
IV	1	66	56	10
V	4	50	17	33
V*	5	38	32	6
VI	32	71	61	10
VII	10	121	101	20
VII*	2	67	185	118

5.3.3 Veldcontrole

Om een beter beeld te krijgen van de ligging en de kwaliteit van de IGG-TNO buizen is besloten een veldcontrole uit te voeren. Omdat voor dit onderzoek niet alle geselecteerde buizen konden worden meegenomen, zijn alleen de buizen op Gt V/V* onderzocht. Hierbij zijn op basis van een aselechte steekproef 96 buizen bezocht. De buizen zijn aan de hand van een inventarisatielijst (aanhangel 4), beoordeeld op hun geschiktheid voor de bepaling van de GHG van het Gt-vlak op de bodemkaart. Hierbij is o.a. gekeken naar de kwaliteit van de buis c.q. de betrouwbaarheid van de fluctuatie van de grondwaterstand en naar de representativiteit van de buis ten opzichte van de omgeving, wat ook moet overeenkomen met het kaartvlak op de bodemkaart. Tabel 48 geeft een samenvatting van de resultaten; voor details wordt verwezen naar aanhangsel 5. Uit het veldonderzoek blijkt dat slechts 21 buizen zonder meer geschikt zijn voor een betrouwbare bepaling van de GHG. 9 buizen kunnen na correctie van de door IGG-TNO opgegeven hoogteligging van de bovenkant buis ten opzichte van maaiveld, alsnog gebruikt worden. 7 buizen komen voor in het droogste (onzuivere) deel van het kaartvlak (categorie C). De vraag is of deze buizen wel representatief zijn, omdat ze vaak bewust op hogere plekken zijn geplaatst, terwijl er geen buizen in lagere delen van het kaartvlak voorkomen. Het grootste deel van de buizen is om andere redenen niet representatief voor het kaartvlak. Hierbij gaat het om buizen in houtwallen en nabij bebouwing (categorie D), en buizen waarvan de fluctuatie niet representatief is, omdat ze in de berm van een weg of in de buurt van een sloot liggen (categorie E). Verder waren bij 3 buizen de door IGG-TNO opgegeven x,y-coördinaten niet juist, en bij 16 buizen kwamen wisselende tekortkomingen voor. Van de 96 onderzochte buizen zijn er 5 die in het verleden als kroonstambuis zijn gekwalificeerd. Hiervan zijn er slechts 2 die ook nu als goed worden gekwalificeerd (categorie A). Van de overige buizen is de fluctuatie niet betrouwbaar (2) of is de ligging niet representatief voor het kaartvlak op de bodemkaart (1).

Tabel 48 *Beoordeling van de IGG-TNO-buizen op de geschiktheid voor de bepaling van de GHG van het Gt-vlak op de bodemkaart*

Categorie ²⁾	Aantal punten	Fluctuatie grondwaterstand	Representativiteit	Geschiktheid voor de bepaling van de GHG van het Gt-vlak	Ligging van de buizen
A	21	+	+	+	representatief voor het kaartvlak
B	9	+	+	+	afwijking bovenkant buis > 5 cm
C	7	+	?	?	in droogste (onzuivere) deel van het kaartvlak
D	7	+	-	-	in een houtwal of nabij bebouwing
E	33	-	-	-	in de berm van een weg of nabij een sloot
F	3	-	-	-	x, y-coördinaten wijken af van de door IGG-TNO opgegeven waarden
G	16	-	-	-	wisselende tekortkomingen

¹⁾ + = goed; o = matig; - = slecht; ? = onbekend

²⁾ zie aanhangsel 5

De resultaten van het veldonderzoek wijzen erop dat slechts een klein deel van de IGG-TNO buizen geschikt is voor een betrouwbare bepaling van de GHG. Om zeker te zijn van betrouwbare meetgegevens is veldcontrole dan ook noodzakelijk.

5.4 Gegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden

De Landelijke Steekproef Kaarteenheden die DLO-Staring Centrum momenteel uitvoert heeft tot doel statistische informatie te verzamelen over bodemkenmerken en grondwaterstanden (Ebbers en Visschers, i.v.). Hiervoor worden de kaarteenheden van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000 bemonsterd via een gestratificeerde tweetraps-steekproef.

5.4.1 Werkwijze

Op basis van de kaartbladindeling van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, worden strata gevormd. Kaartbladen met een kleine oppervlakte of weinig vlakken van de te onderzoeken kaarteenheid worden samengevoegd met een aangrenzend kaartblad,

waardoor strata van twee of meer kaartbladen kunnen ontstaan. De loting van de steekproefpunten in de kaartvlakken van de te onderzoeken kaarteenheden gebeurt in twee trappen. In de eerste trap worden per stratum 2 kaartvlakken geloot. Dit gebeurt met teruglegging, waardoor een kaartvlak voor een tweede keer kan worden uitgeloot, en met trekkingskansen evenredig aan de kaartvlakoppervlakte. In de tweede trap worden in elk geloot kaartvlak aselekt vier steekproefpunten geloot. Bij kaartvlakken groter dan 100 ha worden, in plaats van het gehele kaartvlakoppervlak, aselekt gelote segmenten gebruikt. Bij de bemonstering van de steekproefpunten wordt ondermeer ook de GHG geschat. Met gemeten waarden van grondwaterstandsbuizen die bij een deel van de steekproefpunten zijn geplaatst, worden de geschatte GHG-waarden gecorrigeerd op systematische fouten (calibratie). Het tijdstip van de GHG wordt bepaald aan de hand van waarnemingen in (kroon)stambuizen.

5.4.2 Resultaten

Ten tijde van het onderzoek waren van twee bodemeenheden de resultaten beschikbaar. Het betreft de bekeerdgronden op Gt III/III* en de veldpodzolgronden op Gt V/V* en VI (tabel 49). De *-Gt's zijn niet apart onderscheiden. De mediaanwaarden van de GHG van Gt III/III* en Gt V/V* (resp. 34 en 30 cm) komen ongeveer overeen met de ABN-waarden (32 cm, tabel 40) van de droge varianten (resp. III* en V*). Dit hangt vermoedelijk samen met het feit dat gronden die indertijd als Gt III en V gekarteerd zijn, het eerst in aanmerking zijn gekomen voor ontwateringswerken. Bij Gt VI is er geen effect van de grondwaterstanddaling waar te nemen. De mediaanwaarde van de GHG is zelfs 7 cm hoger dan de ABN-waarde (61 cm), vermoedelijk omdat de uitkomsten geen volledig beeld geven, aangezien nog niet alle bodemeenheden zijn onderzocht.

De GHG-gegevens uit de Landelijke Steekproef hebben als voordeel dat door de aselekte steekproefopzet de uitkomsten representatief zijn voor de Gt-vlakken op de bodemkaart. Een nadeel is echter dat het nog niet zeker is of de GHG-waarden, die bij de bekeerd- en veldpodzolgronden zijn gevonden, ook bij de overige bodemeenheden van toepassing zijn.

Tabel 49 Mediaanwaarden van de GHG van kaarteenheden uit de Landelijk Steekproef Kaarteenheden

Bodemeenheid ¹⁾	Gt	Aantal punten	GHG (cm - mv.)
pZg21/23	III/III*	80	34
Hn21	V/V*	256	30
Hn21	VI	264	54

¹⁾ Bodemkaart, schaal 1 : 50 000

5.5 Evaluatie

In tabel 50 worden de voor- en nadelen van de onderzochte alternatieven samengevat. De BIS-gegevens zijn minder actueel dan de gegevens van de IGG-TNO-buizen en de Landelijke Steekproef omdat een groot deel afkomstig is uit de periode vóór 1980. De gegevens van de meeste IGG-TNO-buizen geven, in tegenstelling tot de Landelijke Steekproef, geen representatief beeld van de GHG van het Gt-vlak vanwege de ongunstige ligging. Bij de BIS-gegevens is het probleem dat de representativiteit moeilijk te achterhalen is. Bovendien is, evenals bij de IGG-TNO-gegevens, niet duidelijk in hoeverre ze een representatief beeld geven van het zandgebied. De uitkomsten uit de Landelijke Steekproef zijn wellicht wel representatief, mits er voldoende bodemeenheden worden onderzocht.

Tabel 50 *Evaluatie van de onderzochte alternatieven voor de actualisering van de GHG*

	BIS- gegevens	IGG-TNO buizen (zonder veldcontrole)	Landelijke Steekproef
Actualiteit	0	+	+
Representativiteit voor het Gt-vlak	?	-	+
Representativiteit voor het zandgebied	?	?	+ ¹⁾
Kwaliteit	?	-	+

+ = goed; 0 = matig; - = slecht; ? = onbekend

¹⁾ mits voldoende kaarteenheden zijn onderzocht.

Voor een betrouwbare bepaling van de GHG zijn de uitkomsten van de Landelijke Steekproef waarschijnlijk het meest geschikt. Een deel van de IGG-TNO buizen is ook geschikt, mits de buizen in het veld gecontroleerd worden.

Uit dit hoofdstuk blijkt dat met de huidige beschikbare gegevens de betrouwbaarheid van de GHG-gegevens te wensen overlaat. De GHG-waarden die in het onderzoek zijn gebruikt (tabel 51), moeten dan ook gezien worden als een globale schatting, bij gebrek aan beter. Dit onderstreept de conclusie uit ander onderzoek (o.a. Wopereis, 1991), dat actualisering van de Gt-informatie op de bodemkaart nodig is. Vanwege de onzekerheid in de GHG-gegevens is in Reijerink en Breeuwsma (1992) een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij hogere (10 cm) en lagere (10-20 cm) GHG-waarden zijn doorgerekend. Daarbij bleek dat de onzekerheid in de grondwaterstand weinig effect heeft op het areaal fosfaatverzadigde gronden: de afwijking varieert tussen 6 en 13%. De schatting van het areaal (zeer) sterk verzadigde gronden wordt wel sterk beïnvloed. De schattingsfout bedraagt hier vermoedelijk enkele tientallen procenten.

**Tabel 51 Gehanteerde GHG (mediaanwaarden)
in Reijerink en Breeuwsma (1992)**

Grondwatertrap	GHG (cm - mv.)	Afkomstig van ¹⁾
I	21	1
II/II*	39	1
III/III*	34	3
IV	34 ²⁾	1
V/V*	50 ³⁾	2
VI	62 ⁴⁾	3
VII	134	1
VII*	170	1

- ¹⁾ 1 = BIS-gegevens; 2 = Representatieve IGG-TNO-buizen (uit steekproef van 96 buizen op Gt V/V*) en 3 = Landelijke Steekproef Kaarteenheden
- ²⁾ waarschijnlijk is een waarde van ca. 60 cm, zoals die met de kroonstambuizen is gevonden, realistischer.
- ³⁾ alleen de buizen uit het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied
- ⁴⁾ gemiddelde waarde, de mediaanwaarde was destijds nog niet beschikbaar

6 TOETSING VAN DE MODELBEREKENINGEN MET MEETGEGEVENS

De modelberekeningen zijn getoetst met meetgegevens afkomstig uit twee veldonderzoeken. In de eerste toetsing (paragraaf 6.1) zijn de gegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden gebruikt, die momenteel door DLO-Staring Centrum wordt uitgevoerd (Ebbers en Visschers, i.v.). In de tweede toetsing, in paragraaf 6.2, zijn de meetgegevens afkomstig van twee gebieden in Overijssel (Hack-ten Broeke et al., 1990).

6.1 Meetgegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden

De meetgegevens die op het moment van de toetsing beschikbaar waren, zijn afkomstig van beekeerdgronden op grondwatertrap III/III*. Het betreft de kaarteenheden pZg21 (beekeerdgronden in leemarm en zwak lemig fijn zand) en pZg23 (beekeerdgronden in lemig fijn zand). De totale oppervlakte met landbouwgrond is ca. 47 000 ha (tabel 52), waarvan de lemige beekeerdgronden het grootste deel (37 000 ha, 79%) vormen. Vanwege de lage ligging is het grootste deel in gebruik als grasland (ca. 80%). De rest bestaat hoofdzakelijk uit maïsland.

Tabel 52 Oppervlakten van pZg21 en pZg23 op Gt III/III* en het aantal steekproefpunten per bodemgebruiksvorm dat tijdens de Landelijke Steekproef Kaarteenheden bemonsterd is (Ebbers en Visschers, i.v.)

Kaarteenheid	Bodemgebruik van de landbouwgronden	Oppervlakte ¹⁾		Aantal bemonsterde steekproefpunten ¹⁾	
		ha	%	n	%
leemarme beekeerdgronden (pZg21)	maïs	2009	20	4	17
	gras	7520	76	17	71
	overig	323	4	3	12
	totaal	9852	100	24	100
lemige beekeerdgronden (pZg23)	maïs	6058	16	8	23
	gras	30215	81	25	71
	overig	837	3	2	6
	totaal	37110	100	35	100

¹⁾ in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied

Van de 8 steekproefpunten die in elk stratum zijn geloot (zie par. 5.4.1), zijn het eerste en vijfde punt bemonsterd. Hierbij is per horizont materiaal verzameld en zijn de horizonten die dikker waren dan 30 cm, opgesplitst in lagen van maximaal 25 cm. In de monsters is het fosfaat- en ijzer- plus aluminiumgehalte bepaald, aan de hand waarvan het fosfaatbindend vermogen en het fosfaatgehalte is berekend. Bij de leemarme beekeerdgronden (pZg21) zijn 24 punten en bij de lemige beekeerd-

gronden (pZg23) zijn 35 punten bemonsterd. Uit tabel 52 blijkt dat de procentuele verdeling van de meetpunten over het bodemgebruik redelijk met de procentuele oppervlakteverdeling van de kaarteenheden overeenkomt.

Doordat binnen een kaartvlak onzuiverheden voorkomen, wijkt de bodemeenheid van een deel van de steekproefpunten af van de definitie van de betreffende kaarteenheid. De onzuiverheid (m.b.t. subgroep) bij beide eenheden is ruim 40% (tabel 53). Bij de leemarme beekeerdgronden is 41% (10 punten) van de bemonsterde punten onzuiver, waarvan het grootste deel afkomstig is van lage enkeerdgronden (EZg). Bij de lemige beekeerdgronden is 46% van de bemonsterde steekproefpunten onzuiver. Hier gaat het in de meeste gevallen om gooreerd- (pZn) en vlakvaaggronden (Zn).

Tabel 53 Bodemeenheid van de bemonsterde steekproefpunten van de kaarteenheden pZg21 en pZg23 in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied

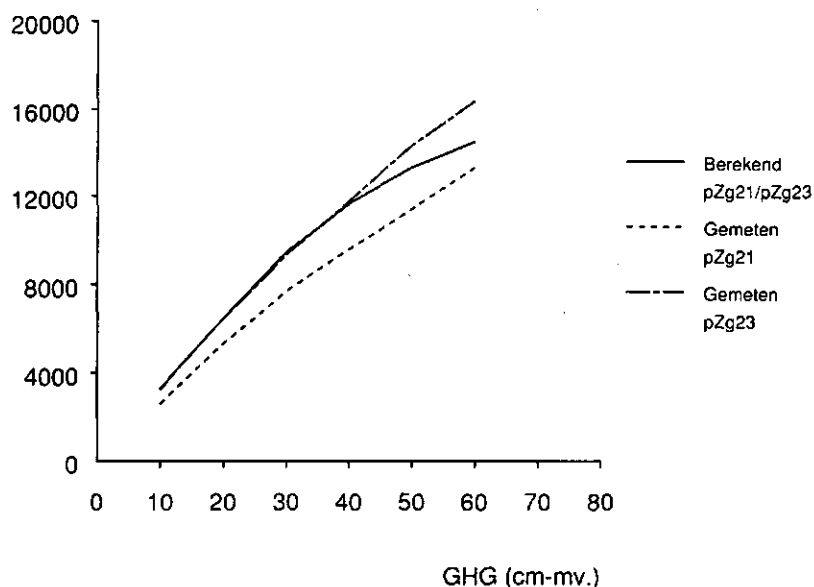
Bodemeenheid op de bodemkaart, schaal 1 : 50 000		Kaarteenheid			
		pZg21		pZg23	
code	naam	aantal	%	aantal	%
pZg	beekeerdgrond	14	59	19	54
pZn	gooreerdgrond	3	12	7	20
Hn	veldpodzolgrond	-	-	3	9
Zn	vlakvaaggrond	-	-	4	11
EZg	lage enkeerdgrond	6	25	-	-
R	poldervaaggrond	-	-	1	3
	broekeerdgrond	-	-	1	3
hV	koopveengrond	1	4	-	-
	totaal	24	100	35	100

In het model hebben de meetgegevens, die afkomstig zijn uit het BIS, betrekking op "zuivere" punten, dat wil zeggen dat alle meetpunten als beekeerdgronden geïnclassificeerd zijn. Daarbij is, om over voldoende meetgegevens te beschikken, geen onderscheid gemaakt tussen de leemarme en lemige variant en zijn behalve grondwatertrap III/III* ook gegevens van de overige grondwatertrappen gebruikt.

Fosfaatbindend vermogen

Figuur 7 geeft het verloop van het fosfaatbindend vermogen van de bodemlaag tot aan de GHG als functie van de GHG. De lemige beekeerdgronden hebben een wat hoger fosfaatbindend vermogen dan de leemarme variant. Het verschil varieert van 500 kg P₂O₅ per ha (GHG = 10 cm - mv.) tot ca. 3000 kg P₂O₅ per ha (GHG = 60 cm - mv.). Het fosfaatbindend vermogen dat door het model wordt berekend, komt in het lage GHG-traject (tot 40 cm - mv.) goed overeen met het fosfaatbindend vermogen van de lemige variant, doordat de meetpunten uit het BIS hoofdzakelijk van de lemige beekeerdgronden afkomstig zijn. Bij hogere GHG-waarden ligt de berekende waarde tussen de leemarme en lemige variant in.

Fosfaatbindend vermogen
(kg P_2O_5 per ha)



Figuur 7 Gemeten en berekend fosfaatbindend vermogen van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 en pZg23

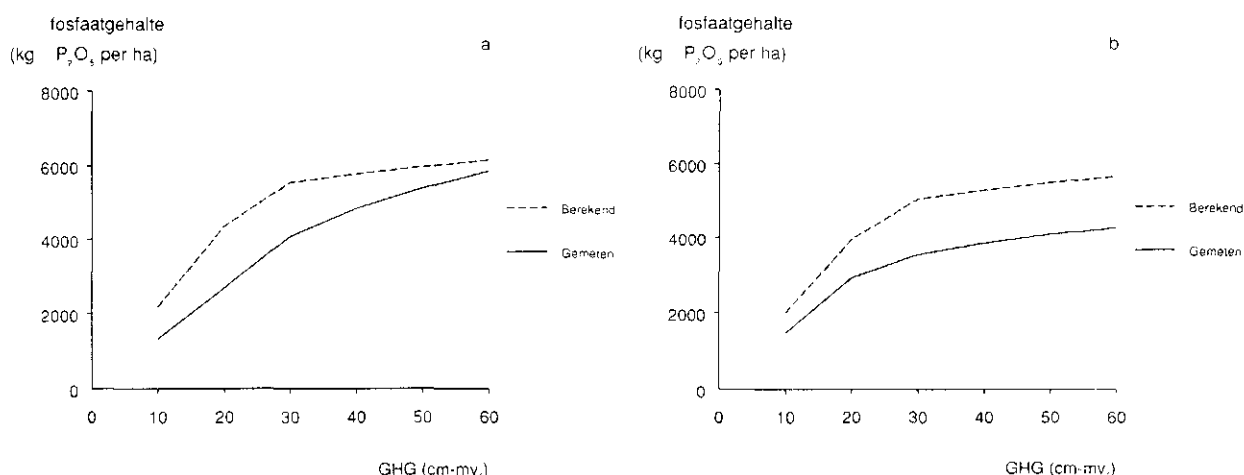
Fosfaatgehalte

Het fosfaatgehalte wordt in de modelberekeningen bepaald door het natuurlijk fosfaatgehalte en de hoeveelheid fosfaat die via bemesting in de bodem is terechtgekomen (fosfaatoverschot). Het natuurlijk fosfaatgehalte van de beeeerdgronden is geschat met meetgegevens van totaal-fosfaatgehalten uit het BIS (par. 3.2). Voor het berekenen van het fosfaatoverschot zijn de rastercellen geselecteerd waarin leemarme of lemige beeeerdgronden op grondwatertrap III/III* voorkomen. Vervolgens is voor de leemarme en lemige variant apart, het oppervlaktegewogen gemiddelde fosfaatoverschot per bodemgebruiksvorm berekend (tabel 54).

Tabel 54 Fosfaatoverschot bij maïsland, grasland, overig bouwland en het totale landbouwareaal op kaartenheid pZg21 en pZg23 op grondwatertrap III/III* (modelberekening)

Bodemgebruik	Fosfaatoverschot (kg P_2O_5 per ha)	
	pZg21	pZg23
maïsland	8300	7841
grasland	3311	3173
overig bouwland	3281	2795
totale landbouwareaal	4327	3833

Het fosfaatoverschot bij de leemarme beekerdgronden (pZg21) is ca. 500 kg P_2O_5 per ha hoger dan de lemige beekerdgronden (pZg23), doordat de leemarme variant vooral in de gebieden met hoge mestoverschotten voorkomt, terwijl de lemige variant ook in gebieden met lagere overschotten voorkomt, zoals Salland en Twente en de Noordelijke Achterhoek. Bij het berekenen van het fosfaatgehalte als functie van de GHG (figuur 8) is aangenomen dat het fosfaatoverschot zich in de bouwvoor (25 cm) bevindt en daar, tezamen met de hoeveelheid fosfaat die van nature aanwezig is, homogeen verdeeld is. Beneden 25 cm - mv. wordt alleen met natuurlijke gehalten gerekend.



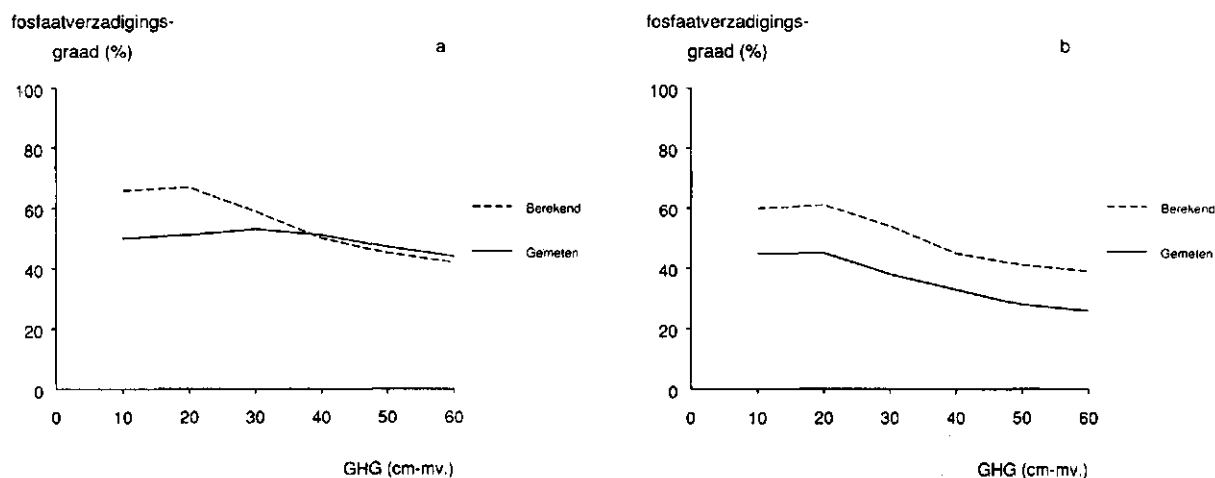
Figuur 8 Gemeten en berekende fosfaatgehalte van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 (a) en pZg23 (b)

Uit figuur 8 blijkt dat het fosfaatgehalte van zowel de leemarme als de lemige beekerdgronden wordt overschat. Het verschil met de gemeten waarden is ca. 1500 kg P_2O_5 per ha. Bij de leemarme beekerdgronden valt op dat het berekende fosfaatgehalte beneden de bouwvoor minder sterk toeneemt dan het gemeten gehalte. Dit betekent dat het natuurlijk fosfaatgehalte hoger is dan door het model is berekend, doordat een deel van de metingen afkomstig is van lage enkeerdgronden (EZg), die als kaartonzuiverheden binnen de kaartenheid voorkomen (tabel 53) en vanwege het dikke cultuurdek hogere fosfaatgehalten in de ondergrond hebben. Een andere mogelijkheid is dan beneden 25 cm ook een deel van het fosfaatoverschot voorkomt. Bij de lemige beekerdgronden lopen de curves parallel aan elkaar, waaruit blijkt dat hier het natuurlijke fosfaatgehalte wel goed wordt geschat.

Fosfaatverzadigingsgraad

Bij de leemarme beekerdgronden is de berekende fosfaatverzadigingsgraad in de bovengrond ca. 16% (absoluut) hoger, maar in de ondergrond komt deze nagenoeg overeen met de gemeten waarden (figuur 9). De overschatting in de bovengrond komt doordat het fosfaatgehalte te hoog is geschat. In de ondergrond is sprake van een gecombineerd effect van de overschatting van het fosfaatgehalte in de bovengrond en de onderschatting van het natuurlijk fosfaatgehalte in de ondergrond. Bij de lemige beekerdgronden komen de uitkomsten van het model minder goed overeen met de

gemeten waarden. Over het gehele GHG traject wordt de fosfaatverzadigingsgraad met ca. 15% (absoluut) overschat.



Figuur 9 Gemeten en berekende fosfaatverzadigingsgraad van de bodemlaag tot aan de GHG van pZg21 (a) en pZg23 (b)

Om na te gaan of er verschillen tussen gras- en maïsland zijn, zijn de berekeningen van de lemige beekerdgronden voor beide bodemgebruiksvormen apart uitgevoerd. Tabel 55 geeft de berekende en gemeten waarden van het fosfaatgehalte en de fosfaatverzadigingsgraad van de bodemlaag tot aan de GHG van grondwatertrap III/III* (34 cm). Hieruit blijkt dat het fosfaatgehalte bij grasland met 841 kg P_2O_5 per ha wordt overschat, wat tot gevolg heeft dat de fosfaatverzadigingsgraad met 11% wordt overschat. Bij maïsland zijn de overschattingen van het fosfaatgehalte en de verzadigingsgraad aanzienlijk hoger, namelijk 5363 kg P_2O_5 per ha en 42%. Hierbij kunnen vanwege het geringe aantal meetpunten (8) de meetuitkomsten minder betrouwbaar zijn en het areaal maïsland op de beekerdgronden met Gt III/III* is gering (ca. 8000 ha, tabel 53).

Tabel 55 Fosfaatgehalte en fosfaatverzadigingsgraad (berekend en gemeten) in de bodemlaag 0-34 cm - mv. van maïsland, grasland en het totale landbouwareaal op lemige beekerdgronden op grondwatertrap III/III*

Bodem- gebruik	Fosfaatgehalte (kg P_2O_5 per ha)			Fosfaatverzadigingsgraad (%)		
	berekend	gemeten	verschil	berekend	gemeten	verschil
grasland	4516	3692	841	44	33	11
maïsland	9183	3820	5363	88	46	42

De belangrijkste conclusie uit deze toetsing is, dat behalve uit de modeluitkomsten ook uit meetgegevens blijkt dat de beekerdgronden op grondwatertrap III/III* fosfaatverzadigd zijn (fosfaatverzadigingsgraad groter dan 25%). Het niveau van de verzadiging wordt door het model echter overschat. Wanneer het gehele GHG-traject in beschouwing wordt genomen, varieert het verschil tussen de berekende en gemeten

waarde tussen +20% en -5% bij de leemarme beekeerdgronden en tussen +13% en +15% bij de lemige beekeerdgronden (figuur 9). Bij een GHG van 34 cm - mv. (grondwatertrap III/III*) is bij de leemarme beekeerdgronden het verschil tussen de berekende en gemeten waarde 5% en bij de lemige beekeerdgronden 13%. De overschatting is hoofdzakelijk het gevolg van een overschatting van het fosfaatgehalte. Dit bevestigt het vermoeden dat er op gronden met grondwatertrap III/III* minder mest is uitgereden vanwege de geringe draagkracht gedurende natte perioden. Dit is echter niet in het model meegenomen omdat er geen perceelsgegevens beschikbaar zijn waaruit de verdeling van dierlijke mest over droge en natte percelen kan worden afgeleid. Uit de resultaten blijkt dat dit wel invloed op de fosfaatverzadiging heeft gehad.

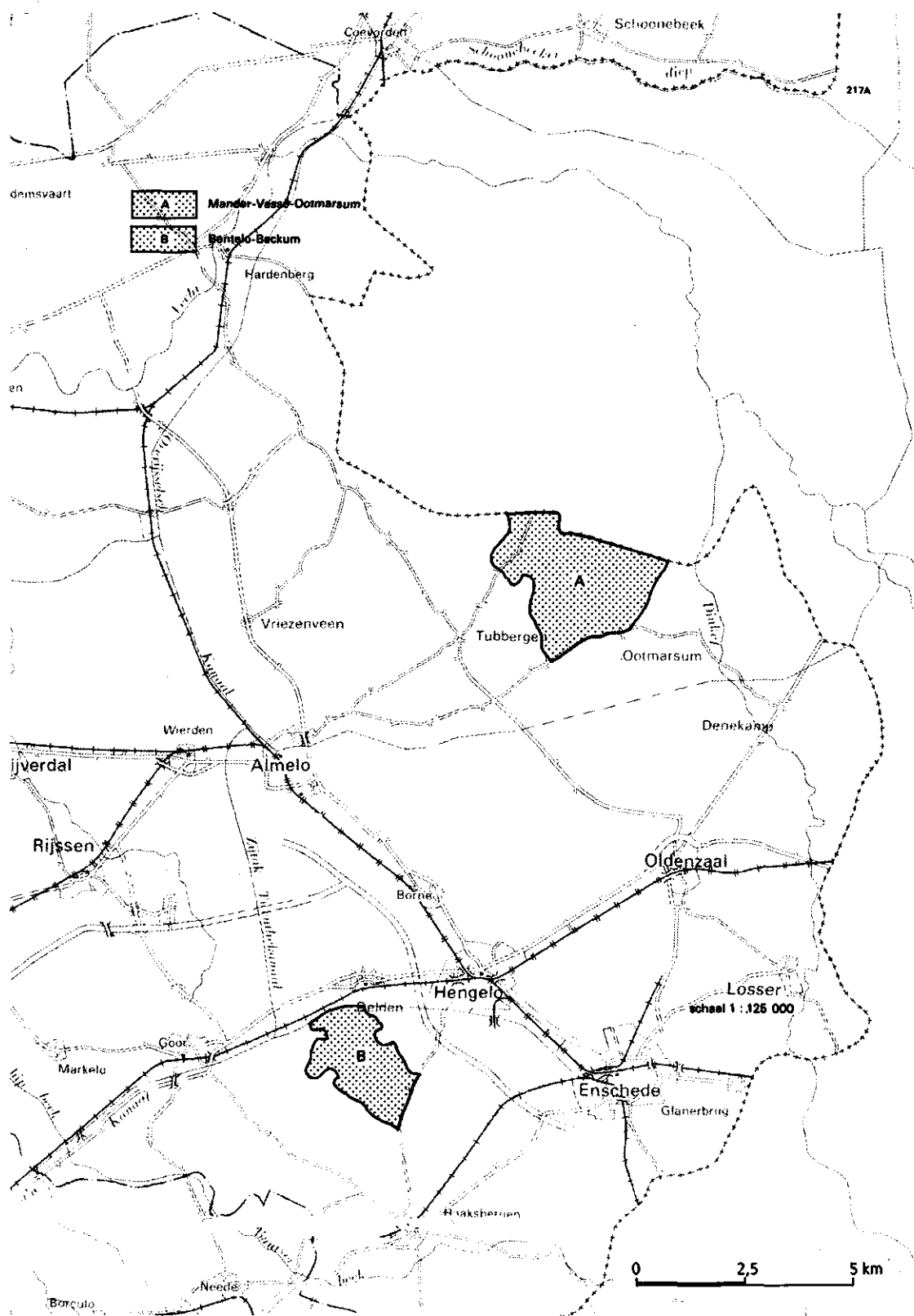
6.2 Meetgegevens van twee gebieden in Overijssel

De tweede toetsing is uitgevoerd met meetgegevens van twee gebieden in Overijssel (figuur 10), namelijk Mander-Vasse-Ootmarsum en Bentelo-Beckum (Hack-ten Broeke et al., 1990). Bij dit onderzoek werden respectievelijk 116 en 66 monsters genomen, die geanalyseerd zijn op het ijzer- plus aluminiumgehalte en het fosfaatgehalte. Er is bemonsterd tot aan de GHG of, bij een GHG dieper dan 1 m - mv., tot 1 m - mv. In het laatste geval zijn de gehalten van de laag beneden 1 m - mv. gebaseerd op resultaten van eerdere metingen en gegevens uit het BIS. Met de gehalten zijn het fosfaatbindend vermogen, fosfaatgehalte en de fosfaatverzadigingsgraad tot aan de GHG berekend.

Fosfaatbindend vermogen

Bij het fosfaatbindend vermogen geven de modelberekeningen bij Bentelo-Beckum hogere waarden dan de gemeten waarden (tabel 56). De verschillen variëren van 18% tot 66% en blijken voor een deel te worden verklaard doordat de GHG in het model lager is dan de gemeten waarde. Wanneer hiervoor gecorrigeerd wordt, zijn de verschillen gereduceerd tot 24-28%.

Ook in Mander-Vasse-Ootmarsum, waar het fosfaatbindend vermogen met 4% tot 28% wordt onderschat (tabel 57), zijn de verschillen voor een deel toe te schrijven aan verschillen in de GHG, die in dit gebied wordt onderschat. Vooral bij de droge grondwatertrappen (VII en VII*), die hoofdzakelijk op de stuwwal voorkomen, zijn de afwijkingen groot. De GHG bevindt zich daar op ca. 300 cm - mv., terwijl in het model met respectievelijk 130 cm en 170 cm - mv. wordt gerekend. Bij correctie voor de GHG-verschillen neemt het verschil tussen het geschatte en gemeten fosfaatbindend vermogen af tot 7-11%. Uit de gegevens valt verder op dat er tussen de gebieden verschillen in fosfaatbindend vermogen voorkomen. In Bentelo-Beckum is het fosfaatbindend vermogen van de veldpodzol- en gooreerdgronden op natte grondwatertrappen 9,1 ton P_2O_5 per ha, terwijl dit in Mander-Vasse-Ootmarsum 15,1 ton P_2O_5 is.



Figuur 10 Ligging van de twee studiegebieden in Overijssel

Tabel 56 *Vergelijking van gemeten en berekende waarden van het fosfaatbindend vermogen in Bentelo-Beckum, voor enkele combinaties van groepen van bodemeenheden en grondwatertrappen*

Groep van bodemeenheden	Groep van grondwatertrappen ¹⁾	Gemeten (ton P ₂ O ₅ per ha)	Berekend (ton P ₂ O ₅ per ha)	Vershil t.o.v. meting (%)	Gecorrigeerd verschil ²⁾ (%)
veldpodzol- en gooreerdgrond	nat	9,1	13,4	+47	+27
beekeerdgrond	nat	8,0	10,2	+28	+25
beekeerdgrond met kleidek	nat	15,3	18,0	+18	+28
zwarte enkeerdgronden	droog	24,7	41,1	+66	+24

¹⁾ nat = II, II*, III, III*, V, V*; matig nat = VI; droog = VII, VII*

²⁾ gecorrigeerd voor verschil in gemeten en berekende GHG

De gemiddelde GHG is in beide gevallen 41 cm - mv. Dit verschil wordt mogelijk verklaard door verschillen in de frequentieverdeling, gezien de verschillen in de variatiecoëfficiënten. De variatie-coëfficiënt bij Mander-Vasse-Ootmarsum (126%) is veel groter dan die bij Bentelo-Beckum (71%, Hack-ten Broeke et al., 1990), waardoor de kans groter is dat de gemiddelde waarde er sterk is beïnvloed door uitschieters. Daarom is in het model met mediaanwaarden gerekend, die minder gevoelig zijn voor uitschieters.

Fosfaatgehalte

Het fosfaatgehalte dat eveneens tot de GHG is berekend, is afhankelijk van het gehalte in 1950 en de hoeveelheid fosfaat die via bemesting na 1950 in de bodem is terechtgekomen.

Tabel 57 *Vergelijking van gemeten en berekende waarden van het fosfaatbindend vermogen in Mander-Vasse-Ootmarsum, voor enkele combinaties van groepen van bodemeenheden en grondwatertrappen*

Groep van bodemeenheden	Groep van grondwatertrappen ¹⁾	Gemeten (ton P ₂ O ₅ per ha)	Berekend (ton P ₂ O ₅ per ha)	Vershil t.o.v. meting (%)	Gecorrigeerd verschil ²⁾ (%)
veldpodzol- en gooreerdgrond	nat	15,1	13,8	-9	-11
bruine en zwarte enkeerdgrond	droog	52,7	50,7	-4	+7
laar-, moder- en haarpodzol	droog	47,3	34,0	-28	-9

¹⁾ nat = II, II*, III, III*, V, V*; matig nat = VI; droog = VII, VII*

²⁾ gecorrigeerd voor verschil in gemeten en berekende GHG

Het fosfaatgehalte in Bentelo-Beckum wordt met 1500 kg P₂O₅ per ha *overschat* en in Mander-Vasse-Ootmarsum met 1500 kg P₂O₅ *onderschat* (tabel 58). Bij Mander-Vasse-Ootmarsum worden de verschillen ook beïnvloed door verschillen in de GHG,

omdat daar de berekende waarde afwijkt van de gemeten waarde. Wanneer hiervoor wordt gecorrigeerd, is het verschil 600 kg P₂O₅ per ha (6%).

Tabel 58 *Vergelijking van de gemeten en berekende fosfaatgehalten tot aan de GHG in Beckum-Bentelo en Mander-Vasse-Ootmarsum*

	Fosfaatgehalte tot aan de GHG (ton P ₂ O ₅ per ha)			
	gemeten	berekend	verschil	gecor. verschil ¹⁾
Beckum-Bentelo	6,8	8,3	+1,5	+1,5
Mander-Vasse-Ootmarsum	10,7	9,2	-1,5	-0,6

¹⁾ gecorrigeerd voor verschil in gemeten en berekende GHG

Omdat de fosfaatbelasting na 1950 vooral wordt bepaald door het bodemgebruik, is bij de toetsing ook onderscheid gemaakt tussen gras- en maïsland. Daarbij zijn de gemeten en berekende waarden vergeleken van de laag 0-50 cm - mv. van de veldpodzolgronden (tabel 59). Deze gronden bevatten van nature weinig fosfaat en geven zo een goed beeld van de verschillen in fosfaatbelasting.

In Bentelo-Beckum wordt het fosfaatgehalte van grasland wat onderschat (ca. 25%), terwijl het fosfaatgehalte van maïsland sterk wordt overschat (87%) (tabel 59), waarschijnlijk doordat in dit gebied een sterke wisseling van het grondgebruik is geweest (Hack-ten Broeke et al., 1990), waardoor op perceelsniveau zowel hoge fosfaatgiften (van maïs) als lage fosfaatgiften (van gras) zijn gegeven. Het verschil in fosfaatbelasting is daardoor in werkelijkheid kleiner dan door het model wordt berekend. Aangezien het landbouwareaal in dit gebied voor de helft uit maïsland en voor de helft uit grasland bestaat (Thunissen et al., 1992), mag verwacht worden dat deze afwisseling op veel percelen heeft plaatsgevonden. Een andere verklaring is dat de verdeling van dierlijke mest over gras- en maïsland niet goed is ingeschat. Wanneer met een variant met gelijke fosfaatgiften voor gras- en maïsland wordt gerekend, komen de gemeten en berekende waarden beter met elkaar overeen (tabel 59).

Tabel 59 *Gemeten en berekende fosfaatgehalten in de laag 0-50 cm - mv. bij maïs- en grasland op veldpodzolgrond*

Bodemgebruik	Fosfaatgehalte (ton P ₂ O ₅ per ha)		
	gemeten	berekend	
		standaard	variant ¹⁾ methode
<i>Bentelo-Beckum</i>			
maïspan	5,4	10,1	6,7
grasland	6,0	4,5	6,6
<i>Mander-Vasse-Ootmarsum</i>			
maïspan	6,3	7,5	5,2
grasland	5,4	3,9	5,1

¹⁾ berekend met gelijke fosfaatgiften voor gras- en maïsland

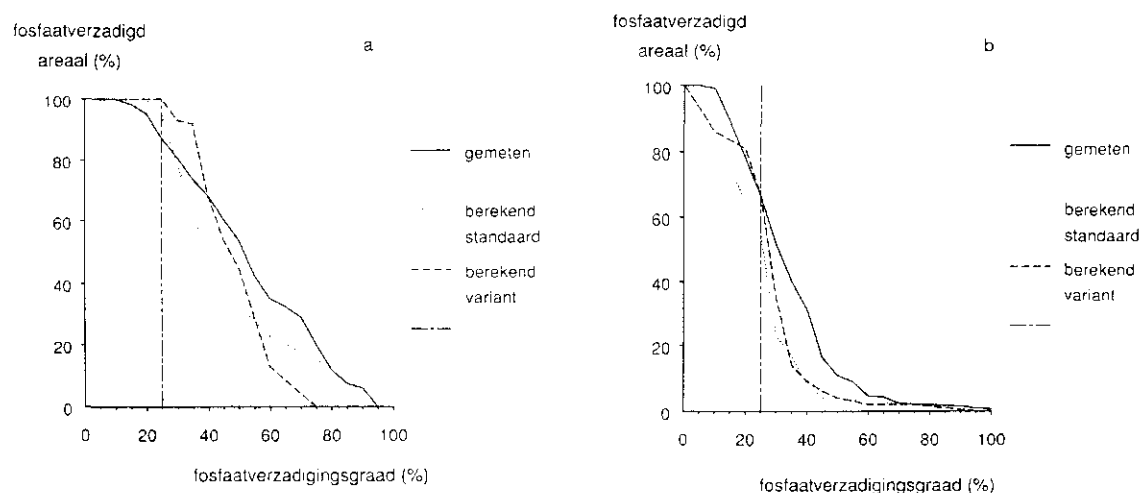
Ook in Mander-Vasse-Ootmarsum worden de fosfaatgehalten bij gras- en maïsland resp. onderschat (28%) en overschat (19%). In Mander-Vasse-Ootmarsum is de overschatting bij maïsland lager dan bij Bentelo-Beckum. Vermoedelijk heeft de afwisseling tussen gras en maïs hier een minder belangrijke rol gespeeld, mede aangezien slechts 25% van het landbouwareaal uit maïsland bestaat.

Fosfaatverzadigingsgraad

Het effect van de fouten in de schatting van het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatbelasting op de fosfaatverzadigingsgraad, wordt toegelicht aan de hand van de fosfaatverzadigingscurve (figuur 11).

Uit de verzadigingscurven van Bentelo-Beckum blijkt dat bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% het verzadigd areaal met ca. 8% wordt overschat. Bij hogere waarden van de fosfaatverzadigingsgraad wordt het areaal juist onderschat, tot maximaal 20%, terwijl bij zeer hoge waarden (groter dan 80%) het areaal iets wordt overschat. De berekening met gelijke fosfaatbelasting voor gras- en maïsland (variant) blijkt alleen bij verzadigingsgraden tussen ruwweg 40% en 50% een verbetering op te leveren. De overschatting bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% is toegenomen.

In het studiegebied Mander-Vasse-Ootmarsum wordt de fosfaatverzadigde oppervlakte over het hele traject wat onderschat. Bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% is het verschil met de gemeten oppervlakte 12%. Het grootste verschil wordt in het traject 30-40% gevonden, waar de onderschatting maximaal 25% bedraagt.



Figuur 11 *Gemeten en berekende fosfaatverzadigingscurve voor Bentelo (a) en Mander-Vasse-Ootmarsum (b)*

Bij zeer hoge waarden van de fosfaatverzadigingsgraad valt de berekende curve samen met de gemeten curve. De resultaten worden wat beter, wanneer met gelijke fosfaatgiften wordt gerekend. In dat geval komen bij een fosfaatverzadigingsgraad van 25% de gemeten en berekende oppervlakten met elkaar overeen.

Het resultaat uit deze toetsing is dat de fosfaatverzadigde oppervlakte in Bentelo-Beckum en Mander-Vasse-Ootmarsum (respectievelijk 87% en 67%) slechts in geringe mate door het model wordt over- resp. onderschat. De verschillen tussen de gemeten en berekende waarde zijn minder dan 12% (absoluut). Bij hogere waarden van de fosfaatverzadigingsgraad is de onderschatting van het verzadigd areaal groter (20% tot 25%).

6.3 Conclusies

De conclusies uit beide toetsingen kunnen als volgt worden samengevat. Bij de beekeerdgronden op grondwatertrap III/III* is gebleken dat de fosfaatverzadigingsgraad wordt overschat door het model (ca. 10-20%). De overschatting is hoofdzakelijk het gevolg van een overschatting van het fosfaatgehalte en houdt waarschijnlijk verband met het feit dat de percelen op deze gronden vanwege de lage ligging in natte perioden minder zwaar met dierlijke mest bemest zijn. Wegens het ontbreken van gegevens over de verdeling van dierlijke mest op perceelsniveau, kon dit aspect niet in het model worden meegenomen.

Bij de toetsing van de modeluitkomsten met meetgegevens uit Bentelo-Beckum en Mander-Vasse-Ootmarsum is gebleken dat de berekende fosfaatverzadigde oppervlakte (bij een fosfaatverzadigingsgraad groter dan 25%) slechts in geringe mate (12% absoluut) afwijkt van de gemeten waarde. Bij zowel het fosfaatbindend vermogen als de fosfaatbelasting werden verschillen tussen de gemeten en berekende waarden gevonden. Bij het fosfaatbindend vermogen kon dit voor een deel worden verklaard door verschillen tussen de gemeten en berekende GHG. Bij de fosfaatbelasting heeft de afwisseling tussen gras en maïs op eenzelfde perceel wellicht een rol gespeeld, waardoor het fosfaatgehalte bij maïsland te hoog en bij grasland te laag is ingeschat. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat de verdeling van dierlijke mest over gras- en maïsland niet goed is ingeschat.

De uitkomsten van de toetsing bevestigen de conclusie uit Reijerink en Breeuwsma (1992) dat de onzekerheid in de schatting van het areaal fosfaatverzadigde gronden voor een belangrijk deel wordt bepaald door het ontbreken van nauwkeurige gegevens over de grondwaterstand en onzekerheid over verschillen in fosfaatgehalte tussen gras- en maïslandpercelen.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

Het (totaal) fosfaatbindend vermogen van de bodem in zandgronden wordt hoofdzakelijk bepaald door het ijzer- plus aluminiumgehalte, dat per bodemeenheid varieert. Het fosfaatbindend vermogen dat tot aan de GHG wordt berekend, is ook afhankelijk van de grondwatertrap. Het fosfaatbindend vermogen bij de belangrijkste bodemeenheden varieert van 9500 kg P_2O_5 per ha (veldpodzolgrond op Gt III/III*) tot ca. 50 000 kg P_2O_5 per ha (zwarte enkeerdgrond op Gt VII*).

Het fosfaatgehalte in de bodem wordt bepaald door het achtergrondgehalte en de hoeveelheid fosfaat die via mestoverschotten is aangevoerd. Het achtergrondgehalte fosfaat varieert, afhankelijk van de bodemeenheid en grondwatertrap van 800 kg P_2O_5 per ha (vlakvaaggrond op Gt V/V*) tot ca. 11000 kg P_2O_5 per ha (zwarte enkeerdgrond op Gt VII*). Het fosfaatoverschot dat in de periode 1950-1970 via dierlijke mest en kunstmest in de bodem van het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied is terechtgekomen, bedraagt ca. 1000 kg P_2O_5 per ha. Dit overschot heeft er toe geleid dat reeds in 1970 een belangrijk deel van het landbouwareaal fosfaatverzadigd was. Na 1970 is het fosfaatoverschot ten gevolge van de opkomst van de intensieve veehouderij sterk toegenomen. In de periode 1970-1990 was het gemiddelde fosfaatoverschot op gras- en maïsland resp. ca. 1850 en 6000 kg P_2O_5 per ha. Het verschil tussen gras- en maïsland wordt verklaard doordat in overschotsituaties de meeste dierlijke mest op maïsland terecht komt, terwijl de dierlijke mestgift op grasland beperkt wordt door de maximale kalinorm. Bij de overige landbouwgewassen varieert het overschot tussen 1700 en 2100 kg P_2O_5 per ha. Het totale overschot in de periode 1950-1990 is bij gras- en maïsland resp. ca. 2900 en 7000 kg P_2O_5 per ha, en bij de overige landbouwgewassen ca. 2700-3100 kg P_2O_5 per ha.

De GHG-gegevens zijn afkomstig uit drie bronnen. Bij grondwatertrap III/III* en VI waren de gegevens uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden het meest geschikt. De gegevens van grondwaterstandbuizen van IGG-TNO waren voor een groot deel van de buizen niet goed bruikbaar voor de bepaling van de GHG. Bij een steekproefsgewijze veldcontrole van de buizen op Gt V/V* bleek dat slechts een beperkt aantal buizen geschikt was. Bij de overige buizen is de ligging niet representatief voor het Gt-vlak op de bodemkaart of is de ligging "ongunstig", waardoor de gemeten fluctuatie in de grondwaterstand niet betrouwbaar is. Voor de overige grondwatertrappen zijn de GHG-gegevens uit het BIS gebruikt. Deze hebben als nadeel dat ze voor een deel niet actueel zijn, en dat niet bekend is in hoeverre ze representatief zijn voor het zandgebied. Vanwege de beperkingen die bij het gebruik van de grondwaterstandgegevens naar voren zijn gekomen, laat de betrouwbaarheid van de GHG-schattingen nog te wensen over.

Uit de toetsing van de modelresultaten met meetgegevens uit twee veldonderzoeken bleek dat bij de beekerdgronden op grondwatertrap III/III* de fosfaatverzadigingsgraad met ca. 10-20% (absoluut) wordt overschat, hoofdzakelijk als gevolg van een

overschatting van het fosfaatgehalte. Dit komt waarschijnlijk doordat op deze gronden, vanwege de lage ligging, in natte perioden minder dierlijke mest is uitgereden. Bij de toetsing met meetgegevens uit Bentelo-Beckum en Mander-Vasse-Ootmarsum is gebleken dat de berekende fosfaatverzadigde oppervlakte in deze gebieden slechts in geringe mate (12% absoluut) afwijkt van de gemeten waarde. Bij het fosfaatbindend vermogen werd een deel van de verschillen verklaard door verschillen tussen de berekende en gemeten waarde GHG. Het fosfaatgehalte werd bij maïsland te hoog en bij grasland te laag ingeschat, waarschijnlijk doordat in het model onvoldoende rekening is gehouden met de afwisseling van gras en maïs op eenzelfde perceel of doordat de verdeling van mest over gras- en maïsland niet goed is ingeschat.

Aanbevelingen

Tijdens dit onderzoek is gebleken dat op sommige kaartbladen de Gt-informatie op de bodemkaart verouderd is en dat voor een nauwkeurige schatting van de GHG voor een aantal belangrijke grondwatertrappen onvoldoende actuele en betrouwbare gegevens beschikbaar zijn. Daarom verdient het aanbeveling de Gt-informatie op de bodemkaart te actualiseren (Gt-revisie) en via de Landelijke Steekproef Kaarteenheden van meer kaarteenheden grondwaterstandgegevens te verzamelen.

Bij de toetsing is gebleken dat de onzekerheid in de fosfaatverzadiging voor een belangrijk deel bepaald wordt door de verdeling van mest over natte en droge percelen en de afwisseling van gras en maïs op eenzelfde perceel. In dit verband is er behoefte om via aanvullend veldonderzoek meer meetgegevens te verzamelen. Ook hier biedt de Landelijke Steekproef Kaarteenheden geschikte mogelijkheden. Naast het opnemen van de bodemkenmerken en de grondwaterstand van de steekproefpunten, verdient het aanbeveling tevens bodem- en grondwatermonsters te nemen, waarin het fosfaatgehalte wordt bepaald.

LITERATUUR

BOGAERDS, N., 1961. *Statistisch overzicht van de uitkomsten van landbouwbedrijven 1960/1961*. Den Haag, LEI, Bedrijfseconomische mededelingen, No. 41.

BREEUWSMA, A., 1984. *De fosfaathuishouding van zandgronden in relatie tot de waterkwaliteit*. Wageningen, STIBOKA, Rapport 1840.

BREEUWSMA, A. EN O.F. SCHOUMANS, 1986. *Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden*. Wageningen, STIBOKA, Rapport 1866.

BREEUWSMA, A. EN J.S. DRIJVER-DE HAAS, 1987. "Bodemmineralogie". Uit: *Bodemkunde van Nederland. Deel I Algemene bodemkunde*. Redactie W.P. LOCHER en H. DE BAKKER. Den Bosch, Malmberg

BREEUWSMA, A., J.G.A. REIJERINK, O.F. SCHOUMANS, D.J. BRUS EN H. VAN HET LOO, 1989. *Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuivenbeek*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 10.

BRINK, T. VAN DEN EN H.J. ZONNENBERG, 1960. Evaluatie van een voorlichtingsobject. *Landbouwvoorlichting*, mei 1960

CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1976. *Productie van dierlijke mest 1950-1974*. Den Haag, Staatsuitgeverij.

CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1978-1990. *Productie van dierlijke mest 1976-1988*. Den Haag, Staatsuitgeverij.

CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1988. Transport en gebruik van dierlijke mest, 1985/'86. *Kwartaalbericht Milieu* 88/4: 26-31.

DIENST GRONDWATERVERKENNING-TNO, 1989. *Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland, analyseperiode 1950-1986*. Lelystad, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

DRAISMA, M., 1958. *Het produktieniveauonderzoek; I. teelt en bemesting op bouwland in de praktijk*. Den Haag, Staatsdrukkerij uitgeverijbedrijf. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, No. 64.9.

HACK-TEN BROEKE, M.J.D., H. KLEIJER, A. BREEUWSMA, J.G.A. REIJERINK EN D.J. BRUS, 1990. *Fosfaatverzaadiging in twee gebieden in Overijssel*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 108.

HOEK, K. VAN DER, 1987. *Gemiddelde samenstelling van dierlijke meststoffen in kg per 1000 kg mest*. Wageningen, CAD-BWB-V.

HUPKES, C.M. EN J.F. VAN RIEMSDIJK, 1952. *Uitkomsten van gemengde bedrijven op zandgrond over 1948/49 t/m 1950/51*. Den Haag, LEI, Bedrijfseconomische mededelingen, No. 6.

KEUNING, J.A., 1990. *Samenvattend verslag 1987/1988 stikstofproefbedrijven*. NMI, NMI-verslag nr. C89.09.

KOOPMANS, J., 1960. *Het produktieniveauonderzoek. II. De bemesting van grasland in de praktijk*. Wageningen, Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen, No. 66.5.

KUPERUS, J.A., 1957. *Statistisch overzicht van de uitkomsten van landbouwbedrijven 1955/1956*. Den Haag, LEI, Bedrijfseconomische mededelingen, No. 23.

LAMMERS, H.W., 1984. "Hoeveelheden N, P en K per diersoort per stalperiode en de gehalten in de mest". *De Buffer*, 30-5:

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT, 1951. *Zakboekje 1951*. Den Haag, LEI.

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT, 1965. *Landbouwcijfers 1965*. Den Haag, LEI.

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT, 1965-1987. *Bedrijfsuitkomsten in de landbouw, boekjaren 1965/'66 t/m 1985/'86*. Den Haag, LEI.

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT, 1980. *Landbouwcijfers 1980*. Den Haag, LEI.

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT, 1991. *Landbouwcijfers 1991*. Den Haag, LEI.

LEXMOND, TH.M., W.H. VAN RIEMSDIJK EN F.A.M. DE HAAN, 1982. *Fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij*. Den Haag, Staatsuitgeverij, Reeks Bodembescherming nr. 9.

LOCHER, W.P. en H. DE BAKKER (Eds.), 1990. *Bodemkunde van Nederland. Deel I Algemene bodemkunde*. Den Bosch, Malmberg

LUESINK, H.H. EN M.Q. VAN DER VEEN, 1989. *Twee modellen voor de economische evaluatie van de mestproblematiek*. Den Haag, LEI, Onderzoekverslag 47.

PADMOS, L., 1979. "Teelt en bemesting van snijmaïs". *Stikstof* 91, 218-219.

PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN TUINBOUW, 1959. *Handboekje voor de landbouwvoorlichter*. Wageningen, Proefstation voor de akker- en tuinbouw.

PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN TUINBOUW, 1961. *Handboekje voor de Landbouwvoorlichter*. Wageningen, Proefstation voor de akker- en tuinbouw.

PROEFSTATION VOOR DE AKKER- EN TUINBOUW, 1967. *Handboekje voor de Landbouwvoorlichter*. Wageningen, Proefstation voor de akker- en tuinbouw.

PROEFSTATION VOOR DE AKKERBOUW EN DE GROENTETEELT IN DE VOLLEGROND, 1981. *PAGV-handboek*. Lelystad/Alkmaar, Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond.

PROEFSTATION VOOR DE AKKERBOUW EN DE GROENTETEELT IN DE VOLLEGROND, 1989. *Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de volle grond 1989*. Lelystad/Alkmaar, Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond.

PROV. DIR. BEDRIJFSONTWIKKELING NOORD-BRABANT, 1984. *Mesttransport en mestoverschot in Noord-Brabant*. Tilburg, Prov. Dir. Bedrijfsontwikkeling Noord-Brabant.

REIJERINK, J.G.A. EN A. BREEUWSMA, 1992. *Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 222.

ROERINK, H.J.D., 1983. *Inventarisatie van mesttransporten vanuit de Westelijke Veluwe*. Arnhem, Provinciale Directie voor de Bedrijfsontwikkeling in Gelderland.

SCHOUMANS, O.F., W. DE VRIES EN A. BREEUWSMA, 1986. *Een fosfaattransportmodel voor toepassing op regionale schaal*. Wageningen, STIBOKA, Rapport 1951.

SCHWERTMANN, U., 1964. "Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung". *Z. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk.* 105: 194-202.

SLUIJS, P VAN DER, 1990. "Grondwatertrappen". Uit: *Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene Bodemkunde*. Eds. W.P. LOCHER en H. DE BAKKER. Den Bosch, Malmberg.

STEUR, G.G.L. EN W. HEIJINK, 1991. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000; algemene begrippen en indelingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

STICHTING VOOR BODEMKARTERING, 1968. *Toelichting bij de Bodemkaart, schaal 1 : 50 000, blad 52 west*

STICHTING VOOR BODEMKARTERING, 1981. *Toelichting bij de Bodemkaart, schaal 1 : 50 000, blad 51 oost*

THUNNISSEN, H.A.M., R. OLTHOF, P. GETZ EN L. VELT, 1992. *Grondgebruiksdatabank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 168.

WIJDEVEN, A., 1960. "Bemestingsadvisering in een zandgebied in de praktijk". *Landbouwvoorlichting*, januari 1960.

WIJNANDS, J. EN H.H. LUESINK, 1983. "Regionale verschillen in het kunstmestgebruik in land- en tuinbouw". *Stikstof* 103, 67-69.

WOPEREIS, F.A., 1991. *Bodemgeschiktheid voor emissie-arme mesttoedienings-technieken van grasland in zandgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 159.

NIET-GEPUBLICEERDE BRONNEN

BRUS, D.J., J.J. DE GRUIJTER, B.A. MARSMAN, R. VISSCHERS, A.K. BREGT, A. BREEUWSMA AND J. BOUMA, i.v. Improving spatial estimates at points by stratification according to soilmap units.

CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1950-1970. *Mestproduktietabellen periode 1950 t/m 1970*.

EBBERS, G. EN R. VISSCHERS, i.v. *Upgrading van de bodemkaart van nederland door steekproeven in kaarteenheden van de bekeerdgronden*. DLO-Staring Centrum, Rapport i.v.

EVERS, M.A.A., 1991. *Fosfaateindnormen op maïs- en grasland*. Ede, IKC-veehouderij, Interne notitie, nummer 13.

NAEFF, H., 1991. *Inventarisatie en beschrijving ruimtelijke gegevensbestanden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Interne mededeling 164.

REIJERINK, J.G.A. et al., i.v. *Fosfaatverzadiging in ecologisch kwetsbare gebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport i.v.

VRIES, W. DE EN E.E.J.M. LEETERS, i.v. *Effects of acid deposition on 150 forest stands in the Netherlands. 1. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Report 69.1.

**AANHANGSEL 1 FOSFAATKUNSTMESTGEBRUIK OP GEMENGDE
BEDRIJVEN IN DE BOEKJAREN 1950/1951, 1955/1956
EN 1960/1961 (kg/ha P₂O₅)¹⁾**

Boekjaar 1950/1951

Opp. klasse (ha)	Drenthe	Graaf- schap	Veluwe	Gelderse vallei	Overijssel	Noord- Limburg	Noord- Brabant
4-7	-	-	68	-	66	-	73
7-10	-	-	58	-	69	56	72
10-15	54	-	59	-	57	61	64
15-25	-	-	-	-	-	-	74

Boekjaar 1955/1956

Opp. klasse (ha)	Drenthe	Graaf- schap	Veluwe	Gelderse vallei	Overijssel	Noord- Limburg	Noord- Brabant
4-7	-	-	70	-	66	-	63
7-10	-	55	51	-	59	61	64
10-15	66	52	58	-	66	-	77
15-25	-	-	-	-	-	-	75

Boekjaar 1960/1961

Opp. klasse (ha)	Drenthe	Graaf- schap	Veluwe	Gelderse vallei	Overijssel	Noord- Limburg	Noord- Brabant
4-7	-	-	-	-	54	-	48
7-10	-	56	50	21	52	50	53
10-15	50	49	-	-	47	-	53
15-25	-	-	-	-	-	-	47

¹⁾Bronnen: Hupkes en Van Riemsdijk (1952), Kuperus (1957) en Bogaerds (1961)

**AANHANGSEL 2 FOSFAATKUNSTMESTGEBRUIK IN DE ZANDGEBIEDEN
OP DE GROTERE LANDBOUWBEDRIJVEN, PER
BEDRIJFSTYPE, BOEKJAREN 1965/1966 t/m 1985/1986
(kg/ha P₂O₅) (Bron: LEI, 1965-1987)**

a. Weidebedrijven

Boekjaar	Zandgebied			Oppervlakte gewogen gemiddelde ¹⁾
	noord	oost, centraal	zuid	
1965/1966	39	41		40
1970	34	31		32
1975	27	19	22	23
1980	41	24	22	31
1985	46	26	28	35

¹⁾Berekend met de oppervlakte in 1980, zie tabel e

**b. Gemengde bedrijven met
voornamelijk akkerbouw**

Boekjaar	Totale zandgebied
1965/1966	65
1970	78
1975	72
1980	51
1985	70

c. Gemengde bedrijven met voornamelijk rundvee

Boekjaar	Zandgebied		Oppervlakte gewogen gemiddelde ¹⁾
	noord, oost, centraal	zuid	
1965/1966	43	53	47
1970	33	42	36
1975	34	29	32
1980	34	15	27
1985	34	34	34

¹⁾ Berekend met de oppervlakte in 1980, zie tabel e

d. Gemengde bedrijven met intensieve veehouderij

Boekjaar	Zandgebied		Oppervlakte gewogen gemiddelde ¹⁾
	noord, oost, centraal	zuid	
1965/1966	21	50	34
1970	18	28	23
1975	13	16	14
1980	17	18	17
1985	19	28	23

¹⁾ Berekend met de oppervlakte in 1980, zie tabel e

e. Oppervlakte landbouwgrond per bedrijfstype in 1980

Bedrijfstype	Oppervlakte				
	noord	oost, centraal	noord, oost, centraal	zuid	totaal
weidebedrijven	121 123	92 782		77 246	291 163
gemengde bedrijven					
met vnl. akkerbouw					23 187
met vnl. rundvee			52 675	30 916	83 591
met vnl. intensieve veehouderij			64 377	52 939	117 316

AANHANGSEL 3 DATA VAN AFSLUITING VAN DE VELDWERKZAAM-
HEDEN VAN DE BODEMKARTERING EN EIND-
RAPPORTAGE, AANTAL GRONDWATERSTANDBUIZEN
VAN IGG-TNO EN DE ONDERSCHIEDEN *-GROND-
WATERTRAPPEN PER KAARTBLAD VAN DE
BODEMKAART, SCHAAL 1 : 50 000

Zand- gebied	Kaart- blad	Opname afgesloten	Eind- datum	Aantal buisen	Onderscheiden *-Gt's			
					II'	III'	V'	VII'
Kaartbladen vóór 1970								
N	7W	1968	1973	10				
N	10O	1965	1974	7				
N	11W	1969	1976	22				
N	11O	1967	1971	95	*	*	*	-
N	15W/O	1962	1970	29				
C	25O	1963	1965	23				
C	26W	1963	1966	18				
C	31O	1967	1970	25				
C	32W	1963	1966	61				
C	32O	1960	1965	108				
C	39W	1964	1973	7		*		¹⁾
C	39O	1964	1973	17		*	*	¹⁾
C	40W	1968	1975	3		*	*	¹⁾
O	40O	1968	1975	11		*	*	¹⁾
Z	43O	1963	1967	2				
Z	52W	1963	1968	122				
Z	56	1967	1968	2				
Z	57W	1967	1968	12				
Z	52O	1969	1972	42				
Z	58W	1969	1972	38				
Z	58O	1966	1968	8				
Totaal:				662				

Kaartbladen 1970 - 1980

N	6W	1978	1981	36			*	²⁾
N	6O	1978	1981	24			*	²⁾
N	12O	1972	1977	74		*	*	-
N	13W	1972	1980	117		*	*	-
N	17W	1976	1978	37	*	*	*	-
N	18	1972	1980	31		*	*	-
C	26O	1978	1982	35	*	*		*
C	27W	1978	1982	49	*	*	*	*
C	33W	1973	1979	28			*	-

AANHANGSEL 3 vervolg

Zand- gebied	Kaart- blad	Opname afgesloten	Eind- datum	Aantal buizen	Onderscheiden *-Gt's			
					II*	III*	V*	VII*
C/O	33O	1973	1979	67			*	-
O	34W	1972	1979	145		*	*	-
O	34O	1972	1979	10		*	*	-
O	35	1972	1979	2		*	*	-
Z	45O	1972	1976	33	*	*	*	*
Z	46W/O	1972	1976	43	*	*	*	*
Z	49O	1977	1982	137		*	*	*
Z	51O	1978	1981	79		*	*	*
Z	52O	1973	1975	30				
<u>Totaal:</u>				977				

Kaartbladen na 1980

N	7O	1980	1986	24		*	*	-
N	8W	1980	1986	10	*	*	*	-
N	12W	1987	Rap.	46	*	*	*	*
N	16W	1982	1988	32	*	*	*	-
N	16O	1982	1988	45	*	*	*	-
N	17O	1988	1989	41	*	*	*	3)
C/N	21W	1985	1990	12	*	*	*	*
C/N/O	1O	1989	Rap.	-	*	*	*	*4)
N/O	22W	1983	1990	123	*	*	*	*
N	22O	1983	1990	50	*	*	*	*
C	25W	1986	Rap.	5	*	*	*	*
C/O	27O	1982	1983	101	*	*	*	*3)
N/O	28W	1980	1983	195	*	*	*	*
O	28O	1987	Rap.	130		*	*	*
O	29	1987	Rap.	41	*	*	*	*
O	41W	1981	1983	45	*	*	*	*
O	41O	1981	1983	19	*	*	*	*
Z	44W	1983	1987	19	*	*	*	*
Z	44O	1984	Rap.	35	*	*	*	*
Z	45W	1984	1984	59		*	*	*
Z	49W	1982	1987	7	*	*	*	-
Z	50W	1983	1984	59		*	*	*3)
Z	50O	1981	1985	36		*	*	*
Z	51W	1981	1985	64		*	*	*
<u>Totaal:</u>				1198				

1) alleen onderscheiden bij kleigronden

2) alleen Gt V* onderscheiden

3) herzien

4) geen digitaal bestand

AANHANGSEL 4 BEOORDELINGSFORMULIER VOOR DE GRONDWATER- STANDBUIZEN VAN IGG-TNO

	goed	redelijk	matig	slecht
Kwaliteit van de buis (c.q. betrouwbaarheid fluctuatie)				
Representatieve ligging t.o.v. het 1 : 50 000 kaartvlak				

Hoogteligging t.o.v. omgeving: cm (+/- = resp. hoger/lager t.o.v. omgeving)

Geschatte GHG: cm - mv.

Geschatte GLG: cm - mv.

Bodem/Gt van het punt: (1 : 50 000 code)

Bodem/Gt van het kaartvlak
op de bodemkaart: (1 : 50 000 code)

Bodem/Gt van het kaartvlak zoals
in het veld waargenomen: (1 : 50 000 code)

Buis is verplaatst, terwijl dit
niet door TNO is opgegeven: ja/nee

Indien ja: nieuwe coördinaten
x =
y =

Beschrijving van de ligging van
de buis (bv. erf, berm, etc.):

Overige opmerkingen:

AANHANGSEL 5 Beoordeling van de grondwaterstandbuizen van IGG-TNO

5.1 Buizen met een betrouwbare fluctuatie en representatief voor het kaartvlak op de bodemkaart (categorie A, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör. + sloot	Berm	Water- win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
N	06D-P-0093	196.610	578.890	16	101	pZg23-V*	G	G					X		
N	06G-L-0061	201.250	576.240	20	105	pZg23x-V	G	G					X		
N	10H-L-0048	179.135	550.395	71	152	cHn21-V	G	G		X					
N	11F-L-0001	212.040	574.600	48	103	cHn23x-V	G	G		X					
N	11F-L-0020	210.460	564.330	17	105	cHn23x-V*	G	G							
N	11F-L-0050	217.650	571.990	12	67	zWpx-V	G	G							III/V
N	11F-L-0059	213.980	570.250	11	70	Hn23x-V	G	G							
N	11F-L-0067	216.900	570.770	56	136	cHn21x-V	G	G							
N	11F-P-0068	217.420	570.770	35	90	zWpx-V	G	G							
N	11H-L-0046	210.760	554.900	7	82	cHn21x-V	G	G							
N	15E-L-0011	168.620	545.440	10	97	cHn21-V	G	G							
N	15F-L-0079	174.290	546.220	16	126	cHn23x-V	G	G							
N	16F-L-0001	217.450	549.320	66	152	vWp-V	G	G							
O	28F-P-0084	255.490	492.860	49	141	Hn21t-V	G	G							
O	28H-L-0008	254.440	485.100	30	158	Hn23t-V*	G	G							
O	34D-L-0008	232.840	456.950	44	154	Hn21-V*	G	G							
C	32E-P-0065	168.780	470.600	53	146	cHn21-V	G	G							
C	32H-P-0109	178.950	462.050	73	159	Hn21-V	G	G		X					V*/VI
Z	50A-P-0153	104.060	391.930	55	154	Hn21-V*	G	G		X					V*/VI
Z	50E-L-0010	122.730	395.320	33	126	zEZ23-V*	G	G							
Z	57F-P-0084	178.310	368.950	55	158	pZn23-V	G	G					X		

5.2 Goede buizen t.o.o. het kaartvlak dat ze vertegenwoordigen maar het meetpunt t.o.v. maaiveld wijkt meer dan 5 cm af (categorie B, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG (cm - mv.)	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm + sloot	Berm	Water- win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
N	07H-L-0013	250.640	581.510	50	103	vWpx-V	S	G		bb +17?						
N	11H-L-0009	215.050	561.070	55	216	cHn23x-V	S	G		bb +14						
N	22D-P-0092	235.400	508.210	53	137	svWpF-V*	S	G		bb +9						
O	27H-P-0064	211.560	479.000	90	131	Hn21-V*	S	G		bb -14		X				
O	28H-L-0072	253.250	481.550	18	140	Hn23t-V	S	G		bb +11						
O	29C-L-0031	264.980	477.980	26	130	Hn21x-V*	S	G		bb -9						
O	34D-L-0122	235.300	455.420	37	131	Hn21-V*	S	G/R		bb -15						
Z	44H-P-0075	131.560	402.480	65	132	Hn21-V*	S	G		bb +15						
Z	51E-L-0010	169.800	396.380	70	132	Hn21-V*	S	G		bb +36						

5.3 Buizen met een betrouwbare fluctuatie en redelijk representatief voor het kaartvlak op de bodemkaart; ze liggen wat gunstig (droger) t.o.v. het kaartvlak (categorie C, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm + sloot	Berm win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
				(cm - mv.)											
N	06H-P-0075	216.600	582.030	60	126	zEZ23x-V*	G	R	H +20						
N	11F-L-0038	215.210	572.430	26	61	KX-V	G	R	H +20		X				V/VI
N	13B-L-0035	270.880	564.210	52	154	pZn23-V*	G	R	H						
N	16B-P-0001	199.800	546.250	51	*	Hn23-V	G	R					X		
N	17B-P-0080	230.780	543.530	76	174	Hn23x-V	G	R	H						
C	32E-L-5202	169.660	470.720	52	160	zEZ21-V	G	R	H +20		X				
Z	50B-L-0018	119.960	392.530	31	128	Hn21-V	G	R							V/VI

5.4 Goede buizen die te hoog liggen t.o.v. het kaartvlak dat ze vertegewoorden; ze liggen zeer duidelijk hoger (droger) in het kaartvlak (categorie D, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm + sloot	Berm	Water- win gebied	Buis stuk	Grens Gt
				(cm - mv.)												<50 m
N	06D-P-0129	197.005	581.705	22	*	pZg23-V	G	M	H +20		X					
O	28F-L-0113	251.850	492.950	70	173	Hn21-V*	G	M	H+30-50		X					
O	29A-P-0056	264.770	494.840	42	130	Hn21-V	G	M	H+30		X					
O	34B-L-0080	235.380	463.320	78	194	pZg23-V*	G	S	H+40?							
O	34F-L-0112	258.160	474.190	24	151	zEZ23-V*	G	M	H+35		X			X		
Z	57F-L-0029	176.670	373.480	100	223	Hn23 /										
						pZn23-V	G	S	Bebouwing							
Z	58A-L-0009	184.030	370.920	28	151	Hn23E-V	G	M	H +20		X					

5.5 Buizen die in de berm van wegen aan een sloot of kanaal staan en daarom geen vertegenwoordiger zijn voor de fluctuatie van het grondwater in het betreffende gebied (categorie E, tabel 48)

Regio	Buismr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte l.o.v. omgeving	Hoogte l.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm +	Berm sloot	Water- win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
				(cm - mv.)												V/V1
N	11F-L-0054	215.000	571.050	29	76	Hn23x-V	S	S	H +30			X				
N	12A-L-0058	223.720	574.430	48	136	cHn23x-V	S	S	H+40	bb -13		X				
N	12B-P-0003	239.150	574.930	93	185	cHn23-V*	S	M	L-30	bb +80		X				
N	12D-P-0243	233.900	551.650	96	164	Hn23x-V	M	S	H+50-60			X				
N	12F-P-0135	238.520	569.820	82	153	iVp-V*	M	S	H+40			X				
N	13A-L-0010	261.325	571.615	85	169	iVz-V*	S	S	H+50	bb +15? X	X	X		X		
N	13B-L-0024	272.430	566.960	67	95	zVc-V	S	S			X	X				
N	16E-L-0023	200.730	546.110	40	*	Hn23x-V	S	M		bb -10		X				
N	16H-L-0003	216.470	527.120	62	135	Hn21-V*	S	S	L-20	bb +22		X		X		
N	17D-P-0045	232.160	535.050	37	157	Hn23x-V	S	S	H+30-50	bb -12		X				
N	18A-P-0024	263.070	537.760	93	137	iVz-V*	S	S		bb -42		X				
N	18C-P-0020	261.040	527.920	96	146	iVp-V*	S	S	L-30	bb -25		X				
N	22A-L-0026	220.540	517.600	68	157	Hn23-V*	M	S				X				
O	27F-P-0051	218.330	492.370	121	156	Hn23-V*	S	S	H+50	bb +27		X			X	
O	27H-L-0002	218.060	487.350	58	152	Hn23-V*	M	G				X				
O	28C-L-0111	220.030	484.850	53	169	Hn23-V*	M	S	H+40			X				
O	33H-P-0035	219.480	452.990	71	173	Hn23F-V	S	S		bb -40		X				
O	34B-P-0073	235.180	464.670	90	215	Hn21-V*	S	S	H+30	bb -17		X		X		
O	34C-L-0001	223.960	461.120	71	179	Hn23-V*	S	S	H+80			X				
O	41A-L-0031	223.180	445.260	62	172	Hn21-V*	R	S	H+40			X				
O	41B-P-0047	233.630	449.470	60	162	Hn21-V*	S	M		bb +38		X				
C	39B-L-0020	151.570	448.070	60	114	zEZ21 / pZn21-V	S	S	H +20		X	X				

vervolg 5.5 Buizen die in de berm van wegen aan een sloot of kanaal staan en daarom geen vertegenwoordiger zijn voor de fluctuatie van het grondwater in het betreffende gebied (categorie E, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm + sloot	Berm win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
				(cm - mv.)											
Z	45G-L-0032	160.510	406.160	51	113	pLn5F-V	S	S	H +40		X	X			III/V
Z	46D-P-0099	191.970	405.945	71	154	Zn21g-V	M	M				X	X		
Z	49E-P-0087	83.602	393.889	64	161	Hn21-V*	M	S				X	X		V/V*
Z	49E-P-0176	89.590	390.590	5	95	cHn21-V	S	M				X			
Z	49H-P-0025	97.280	387.260	62	163	Hn23t-V	S	M	H +20			X	X		
Z	50B-P-0100	118.750	397.100	31	135	cHn23-V*	M	S	L -30			X			
Z	51A-L-0016	148.050	395.220	68	151	Hn21-V*	M	S				X	X		V*/VI
Z	51B-L-0006	157.640	396.480	49	137	cHn23F-V*	S	M		bb -7		X			
Z	51H-L-0105	170.160	384.180	61	140	zEZ23-V	M	R	L -20			X			
Z	52C-L-0086	188.100	376.110	81	183	Hn21 / pZn21-V	S	M	H +50			X			
Z	58A-P-0090	184.960	368.860	77	256	Hn23-V	S	S	H +50	bb -26		X	X		

5.6 Coördinaten wijken af van de opgegeven coördinaten (buisen kunnen dus in een ander vlak van de bodemkaart liggen (categorie F, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis omgeving	Repr. buis	Hoogte t.o.v. mv.	Hoogte t.o.v. sloot	Berm + gebied	Water- win	Buis stuk <50 m	Grens Gt
				(cm - mv.)										
N	13B-L-0012	275.560	568.680	88	136	zWp-V	S	M	H+25	bb +10	XX			
N	18A-L-0005	264.340	547.280	66	152	iVz-V*	S	S		bb +10	XX			
O	34G-P-0081	240.150	455.030	73	146	Hn21gx-V*	S	M		bb -23	X		X	

5.7 Overige buizen (categorie G, tabel 48)

Regio	Buisnr.	X-coörd.	Y-coörd.	GHG	GLG	Bodem- eenheid (op de bodemk.)	Kwal. buis	Repr. buis	Hoogte t.o.v. omgeving	Hoogte t.o.v. mv.	Afw. coör.	Berm + sloot	Berm win gebied	Buis stuk	Grens Gt <50 m
				(cm - mv.)											
N	06E-L-0022	201.100	589.160	20	99	pZg23x-V*	R	M							
N	06H-L-0010	213.820	577.660	55	104	Hn23-V*	R	M	L -20						
N	11F-L-0046	215.800	571.520	20	106	zWpx-V	R	R	L -30						
N	12F-P-0092	255.520	573.000	81	125	kWz-V	M	M	H?					X	
N	17D-L-0012	236.900	536.400	29	70	vWpx-V	S	G		bb +10				X	
O	28F-L-0042	254.720	492.380	89	174	pZg23x-V	S	S	L?					X	
O	28H-L-0035	253.750	485.370	100	172	Hn23t-V*	S	M	H +50	bb -9					
O	34B-L-0042	234.650	464.480	77	197	Hn21-V*	S	R	H +25	bb +33		X			
O	34C-L-0024	229.080	456.020	68	165	Hn21-V*	S	R	H	bb -12					
Z	45C-L-0026	141.490	400.520	63	203	pZn23t-V*	S	R		bb -15?	X				V*/V1
Z	45D-L-0012	153.700	403.850	53	127	cHn23-V*	S	R		bb -13					
Z	45D-L-0049	154.660	402.590	46	165	Hn21-V*	S	R		bb +7					
Z	46D-L-0035	193.610	402.950	64	122	Hn21g-V	S	M	L -20	bb +10			X		III/V
Z	49G-L-0027	82.897	380.604	37	114	Zd21-V*	S	S		bb -12			X		V/VII*
Z	49G-L-0108	85.497	380.440	7	*	Zn21-V	G	S							III/V
Z	58E-L-0015	204.020	365.260	98	141	Hn23x-V	S	M		bb -8					III/V