

Rapport nr. 2007 ^I

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**BODEMKUNDIGE INFORMATIE VOOR EEN
GLOBAAL VERMESTINGSMODEL**

A. Breeuwsma
O.F. Schoumans
W. De Vries
J.F. Kragt

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1987



21 DEC 1987

157-267500*

	Blz.
INHOUD	
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	9
2. MODELBESCHRIJVING	11
2.1 Fosfaatverzadiging	11
2.2 Nitraatuitspoeling	14
3. GEGEVENSVERZAMELING	17
3.1 Bemestings- en onttrekkingsgegevens	17
3.2 Bodemschematisatie	18
3.3 Modelparameters voor fosfaatverzadiging	20
3.4 Modelparameters voor nitraatuitspoeling	24
4. BRUIKBAARHEID VAN DE INFORMATIE	27
LITERATUUR	29
TABELLEN	
1. N- en P-gehalten van de vier belangrijkste mestsoorten	18
2. In beschouwing genomen bodemeenheden en grondwatertrappen (schaal 1 : 50 000) per kaartvlak van de bodemkaart schaal 1 : 1 000 000	19
3. De GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) en GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) in cm beneden maaiveld gemeten bij verschillende grondwatertrappen	20
4. De indeling van het fosfaatbindend vermogen in klassen	21
5. Toedeling van legenda-eenheden van de bodemkaart schaal 1 : 1 000 000 aan klassen voor het fosfaatbindend vermogen (FBV) tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand	23
6. Ammoniakverliezen op bouwland bij uitrijden en inwerken van drijfmest, uitgedrukt als fractie van de minerale stikstof in de mest	24
7. GHG-factoren afhankelijk van de grondwatertrap	25
8. De denitrificatiefractie van de legenda-eenheden van de bodemkaart schaal 1 : 1 000 000	25

SAMENVATTING

Op verzoek van Resources Planning Consultants B.V. is door de Stichting voor Bodemkartering informatie geleverd voor de bodemmodule van het door genoemd bureau ontwikkelde vermestingsmodel. Dit model beoogt inzicht te geven in de kwantitative effecten van maatregelen op de fosfor- en stikstofstromen in Nederland.

Ten behoeve van de modellering van deze effecten op landelijke schaal is informatie verstrekt over:

1. modellen waarmee de fosfaatverzadiging en nitraatuitspoeling in de bodem op eenvoudige wijze kan worden berekend;
2. invoergegevens met betrekking tot bodem en bemesting die daarbij nodig zijn.

In verband met het korte tijdsbestek waarin de informatie moest worden geleverd en de beperkte beschikbaarheid van gegevens is in beide gevallen sterk geschematiseerd. De bodemfactoren die als modelparameters zijn gebruikt betreffen alleen het fosfaatbindend vermogen en de denitrificatiefractie. Bij fosfaat is geen rekening gehouden met oververzadiging en desorptie. Bij nitraat is een empirisch model gehanteerd waarin onder andere is aangenomen dat er geen sprake is van netto-accumulatie van stikstof in de bodem en dat stikstof alleen in de nitraatvorm voorkomt.

Gegevens over deze modelparameters zijn geschat via hun relaties ("vertaalfuncties") met bodemtypen. Daar deze gegevens in vele gevallen nog ontbreken moest met een beperkt aantal bodemtypen worden volstaan. Om toch een indruk te kunnen krijgen van de effecten op landelijke schaal werd voor elk kaartvlak van de bodemkaart schaal 1 : 1 000 000 een bodemtype, zoals die wordt onderscheiden bij de meer gedetailleerde kartering op schaal 1 : 50 000, als representatief beschouwd. De keuze van deze representatieve bodemtypen berust op de mate van voorkomen en de beschikbaarheid van gegevens.

Doordat onvoldoende rekening kon worden gehouden met de variatie in bodemeigenschappen tussen en binnen kaarteenheden en door de middeling van eigenschappen per landbouwgebied wordt het moment waarop regionaal fosfaatdoorslag of normoverschrijdende nitraatconcentraties optreden onderschat.

De bodemmodule in het vermestingsmodel is vooral bedoeld voor het aangeven van effecten van vermessing op nationale schaal en lange termijn. Uit de geleverde informatie blijkt dat er nog een groot tekort aan basisgegevens is. Dit betreft met name de kennis van vertaalfuncties (vooral bij nitraat) en bodemkenmerken (vooral bij fosfaat). Verder zijn in de toekomst meer gedetailleerde en proces-georiënteerde modellen nodig.

1. INLEIDING

In het kader van het vermistingsonderzoek is door het Ministerie voor Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VROM) een opdracht verleend aan het bureau Resources Planning Consultant voor het ontwikkelen van een globaal vermistingsmodel (RPC, 1987). De bedoeling van het onderzoek was de effecten van bron- en/of effectgerichte maatregelen op de fosfor- en stikstofstromen in Nederland te kwantificeren. Daarbij werd de Stichting voor Bodemkartering benaderd voor het verstrekken van

1. modellen waarmee de fosfaatverzadiging en nitraatuitspoeling in de bodem op eenvoudige wijze kan worden berekend;
2. invoergegevens met betrekking tot bodem en bemesting die daarbij nodig zijn.

Dit rapport bevat de inhoud van de geleverde informatie. De gegevens die nodig zijn voor een gedetailleerde modelbeschrijving, waarmee de effecten van maatregelen op de uitspoeling van fosfaat en nitraat wordt voorspeld, ontbreken nog voor vele bodemkundige en hydrologische situaties. Daarom zijn zeer globale modellen (hoofdstuk 2) en een sterk vereenvoudigde bodemschematisatie (hoofdstuk 3) gehanteerd. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de conclusies ten aanzien van de bruikbaarheid van het model vermisting bij de voorspelling van effecten van beleidsmaatregelen op de bodem- en waterkwaliteit (hoofdstuk 4).

2. MODELBESCHRIJVING

2.1 Fosfaatverzadiging

Voor een globale schatting van de fosfaatverzadigingstijd van bodemeenheden en de fosfaatverzadigingsgraad van een landbouwgebied is gebruik gemaakt van een aantal beschrijvingen uit het fosfaatverzadigingsmodel, FOSVERM, zoals dat bij STIBOKA is ontwikkeld (Schoumans et. al., 1986; Breeuwsma en Schoumans, 1986). Dit model berekend onder andere de tijdsduur waarin bij een gegeven belasting verzadiging optreedt tot een bepaalde diepte.

Het fosfaattransport wordt beschreven als een 1 dimensionale stationaire stroming zonder dispersie en diffusie. Er wordt gerekend met tijdstappen van een jaar. De samenstelling van het compartiment wordt als homogeen beschouwd.

Het model maakt gebruik van de massabalans, waarbij de volgende bronnen en processen zijn ingebracht:

- Toediening van fosfaat via dierlijke mest (drijfmest en beweiding) en kunstmest.
- Opname van fosfaat door het gewas.
- Sorptie van fosfaat aan amorf Al en Fe.

Verder zijn de volgende aannamen gemaakt:

- Alle organische fosfaat toegediend in dierlijke mest mineraliseert binnen een jaar.
- Er is sorptie-evenwicht binnen de beschouwde tijdstap.
- In het vermestingsmodel is geen rekening gehouden met precipitatie (wel in FOSVERM).

Op grond van bovenstaande aannamen kan de fosfaatverzadigingstijd als volgt berekend worden:

$$T_{\text{verz}} = \frac{D}{v_{\text{fos}}} \quad (1)$$

waarbij

$$\begin{aligned}
 T_{\text{verz}} &= \text{fosfaatverzadigingstijd} && (\text{j}) \\
 D &= \text{verzadingsdiepte} && (\text{cm}) \\
 v_{\text{fos}} &= \text{gemiddelde infiltratiesnelheid van het fosfaatfront} && (\text{cm j}^{-1})
 \end{aligned}$$

De infiltratiesnelheid van het fosfaat kan berekend worden op grond van :

$$v_{\text{fos}} = \frac{\text{netto fosfaatbelasting (kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1})}{\text{fosfaatbindend vermogen (kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ cm}^{-1})} \quad (2)$$

Bij deze vergelijking is aangenomen dat het fosfaatfront zich als een blokfront door de bodem begeeft, hetgeen aannemelijk lijkt, omdat fosfaat sterk aan bodemdeeltjes gebonden wordt (Lexmond et al., 1982; Schoumans et al., 1986).

Substitutie van (2) in (1) levert:

$$T_{\text{verz}} = \frac{\text{fosfaatbindend vermogen (kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1})}{\text{netto fosfaatbelasting (kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1})} \quad (3)$$

waarbij het fosfaatbindend vermogen berekend is tot aan de de gekozen verzadigingsdiepte (D).

De netto jaarlijkse fosfaatbelasting is de totale jaarlijkse fosfaatbelasting van de bodem vermindert met de hoeveelheid fosfaat die door het gewas wordt opgenomen.

Het fosfaatbindend vermogen is afhankelijk van de gekozen verzadigingsdiepte en het bodemtype (Breeuwsma, 1984; Breeuwsma en Schoumans, 1986). Als verzadigingsdiepte is in het huidige onderzoek de gemiddelde hoogste grondwaterstand gekozen, omdat dan kans op (ondiepe) uitspoeling naar het oppervlaktewater bestaat. (N.B. Het criterium dat in het kader van de Regeling Fosfaatverzadigde gronden zal worden gebruikt is nog niet bekend.)

Voor de (zeer) droge gronden is een maximale verzadigingsdiepte van een meter aangehouden. Om het fosfaatbindend vermogen per bodemtype tot deze diepte te kunnen berekenen zijn gegevens noodzakelijk over de profielopbouw (aard en dikte van bodemhorizonten), de dichtheid en Al- en Fe-gehalten extraheerbaar met een oxalaat-oplossing. Voor elke horizont kan het totaal fosfaatbindend vermogen in $\text{kg P}_2\text{O}_5$ per ha bij benadering berekend worden met behulp van de volgende vergelijking:

$$\text{FBV}_{\text{tot}} = 0.5 (\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}}) * d * di * 7.1 \quad (4)$$

waarbij

FBV_{tot} = totaal fosfaatbindend vermogen ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$)

Al_{ox} = oxalaat extraheerbaar Al (mmol kg^{-1})

Fe_{ox} = oxalaat extraheerbaar Fe (mmol kg^{-1})

d = horizontsdikte (cm)

di = dichtheid (gram cm^{-3})

De factor 7.1 dient voor de omrekening van mmol kg^{-1} naar $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$.

Sommatie van het totaal FBV van de horizonten tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand levert het FBV_{tot} van de niet met water verzadigde zone. Met behulp van het totaal fosfaatbindend vermogen van de verschillende bodemeenheden in een landbouwgebied en de jaarlijkse netto fosfaatbelasting van de bodem per bodemgebruiksvorm kan een globale schatting gemaakt worden van de gemiddelde fosfaatverzadigingsgraad van een landbouwgebied.

Met behulp van bovenstaande berekening is het niet mogelijk de fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater te berekenen bij fosfaatverzadiging. Ten einde een indruk te krijgen van deze uitspoeling bij continuering van de fosfaatbelasting (of bij afname ten gevolge van de meststoffenwet) dient ook rekening gehouden te worden met fosfaat-desorptie en hydrologische processen zoals oppervlakte afspoeling ('run off'), ondiepe uitspoeling ('inter flow') en diepe uitspoeling. FOSVERM wordt daarom momenteel uitgebreid en gekoppeld aan een hydrologisch model.

2.2 Nitraatuitspoeling

Teneinde een ruwe indruk te krijgen van de stikstofstromen in de verschillende landbouwgebieden, is gebruik gemaakt van een empirisch nitraatuitspoelingsmodel en van modelformuleringen en invoergegevens die ook gebruikt worden bij een regionaal nitraatuitspoelingsmodel (RENLEM) dat bij STIBOKA in ontwikkeling is (Kragt en De Vries, 1987; De Vries et al., 1987).

De tijdstap van het model is een jaar. De dikte van het bodemcompartiment wordt bepaald door de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Binnen dit compartiment is verder geen rekening gehouden met verticale differentiatie.

Het model bestaat in principe uit een massabalans waarbij de volgende bronnen en processen zijn ingebracht:

- Toediening van stikstof in de vorm van dierlijke mest (drijfmest en beweiding), kunstmest en atmosferische depositie. De dierlijke mest is daarbij verdeeld in een mineraal en een organisch deel.
- Netto opname van stikstof door het gewas.
- Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest.
- Omzetting van nitraat in gasvormig stikstof (denitrificatie).

Processen die voor het opstellen van de stikstofbalans verwaarloosbaar zijn geacht betreffen: biologische stikstof binding - nitraat adsorptie aan de vaste fase, verandering van de nitraat berging in de waterfase en diffusie/dispersie van nitraat.

Verder zijn nog de volgende aannamen gemaakt:

- De netto opname betreft de afvoer van stikstof in het gewas via de oogst. Het verschil tussen bruto en netto gewasopname heeft betrekking op de stikstofopname in de overige plantendelen (gewasresiduen).
- De toevoer van organische stikstof in de vorm van dierlijke mest en gewasresiduen is op jaarbasis (tijdstap van het model) gelijk gesteld aan de mineralisatie ervan (evenwichtssituatie).
- Nitrificatie treedt volledig op. Met adsorptie van ammonium heeft derhalve geen rekening gehouden te worden.

Op grond van bovenstaande aannamen is de volgende stikstofbalans opgesteld:

(Alle stikstof termen zijn uitgedrukt in kg ha^{-1} .)

$$N_{\text{uit}} = N_{\text{dep}} + N_{\text{km}} + N_{\text{min}} + N_{\text{org}} - N_{\text{ver}} - N_{\text{opn}} - N_{\text{den}} \quad (5)$$

N_{uit} = uitspoeling van $\text{NO}_3\text{-N}$

N_{dep} = stikstofdepositie

N_{km} = Stikstoftoediening in kunstmest

N_{min} = toediening van minerale stikstof in dierlijke mest

N_{org} = toediening van organische stikstof in dierlijke mest

N_{ver} = ammoniakvervluchtiging

N_{opn} = netto stikstof opname

N_{den} = denitrificatie

De vervluchtiging van ammoniak wordt berekend op basis van de toevoer van minerale stikstof in dierlijke mest, volgens:

$$N_{\text{ver}} = f_{\text{ver}} * N_{\text{min}} \quad (6)$$

f_{ver} = vervluchtigingsfractie

Denitrificatie wordt gerelateerd aan de netto input van stikstof, volgens:

$$N_{\text{den}} = f_{\text{den}} * (N_{\text{dep}} + N_{\text{km}} + N_{\text{min}} + N_{\text{org}} - N_{\text{ver}} - N_{\text{opn}}) \quad (7)$$

f_{den} = denitrificatiefractie

Combinatie van (5), (6) en (7) geeft:

$$N_{\text{uit}} = (1-f_{\text{den}})*(N_{\text{dep}}+N_{\text{km}}+(1-f_{\text{ver}})*N_{\text{min}}+N_{\text{org}}-N_{\text{ver}}-N_{\text{opn}}) \quad (8)$$

Op basis van vergelijking (8) wordt per landbouwgebied de stikstof uitspoeling bij een gegeven belasting berekend.

3. GEGEVENSVERZAMELING

3.1 Bemesting- en onttrekkingsgegevens

Teneinde de fosfaatverzadigingsgraad en de nitraatuitspoeling te kunnen berekenen is in de eerste plaats informatie noodzakelijk over de bemesting en de onttrekking door het gewas. Ten behoeve van het model vermessing (RPC, 1987) is de volgende informatie geleverd:

- De gemiddelde N- en P-toediening in kunstmest per landbouwgebied per bodemgebruiksvorm.
- Minimale stikstofgiften voor grasland en bouwland zijn af te leiden uit LEI-gegevens per landbouwgebied en bedragen gemiddeld voor Nederland resp. 257 kg/ha/jr en 140 kg/ha/jr (Wijnands et al., 1983). Voor maïs is de minimale gift afhankelijk van de toedieningsmethoden en bedraagt deze gemiddeld 50 kg/ha/jr (Dilz et al., 1984). Voor groentegewassen kan eveneens 50 kg/ha/jr worden aangehouden. De maximale stikstofgiften worden bepaald door de netto gewasonttrekking. Uitgangspunt voor de berekeningen vormt de minimale kunstmestgift. Deze dient eventueel aangevuld te worden tot de maximale waarde indien de dierlijke mest (N_{uit}) onvoldoende is om de gewasopname te dekken.
- De gemiddelde N- en P-toediening in drijfmest per landbouwgebied per bodemgebruiksvorm.

De toegediende hoeveelheden van de drijfmest (rundvee-, varkens- en kipdrijfmest, en kippemest per landbouwgebied) zijn af te leiden uit de productiegegevens van het CBS (CBS, 1986). Het N- en P-gehalte van de mestsoorten en de verdeling daarvan over minerale en organische stikstof zijn door Lammers et al. (1983) vermeld en in tabel 1 samengevat.

Tabel 1. N- en P-gehalten van de vier belangrijkste mestsoorten
(uit Lammers et al., 1983)

Mestsoort	%N _{tot}	%N _{min}	%N _{org}	%P ₂ O ₅
runderdrijfmest	0.44	0.22	0.22	0.18
varkendrijfmest	0.55	0.275	0.275	0.47
kippedrijfmest	0.90	0.63	0.27	0.80
kippemest	1.67	0.75	0.92	2.19

- De gemiddelde N- en P-onttrekking per landbouwgebied per bodemgebruiksvorm.

Deze kan worden geschat door vermenigvuldiging van de oppervlakte verdeling per bodemgebruiksvorm per landbouwgebied (CBS-gegevens) met de N- en P-onttrekking (in kg ha⁻¹) door de verschillende gewassen (Handboek voor de akkerbouw, 1973).

De bodemgebruiksvormen kunnen worden beperkt tot grasland, bouwland en maïs. De berekende gewasonttrekking per gewas per gebied bepaalt bij stikstof tevens de maximale kunstmestgift. Gemiddeld voor Nederland bedraagt de gewasonttrekking voor stikstof 365 kg/ha/jr voor grasland, 148 kg/ha/jr voor bouwland en 188 kg/ha/jr voor maïs (Handboek voor de akkerbouw, 1973).

3.2 Bodemschematisatie

Naast bemestings- en ontrekkingsgegevens zijn ook bodemgegevens noodzakelijk. De fosfaatverzadiging en nitraatuitspoeling kan in principe het best worden geschat met behulp van de meest gedetailleerde bodemkaart die op landelijke schaal wordt gemaakt (schaal 1 : 50 000). Gezien het globale karakter van het onderzoek, het korte tijdsbestek en het zeer beperkte aantal beschikbare gegevens is voor de bodemkundige informatie echter gebruik gemaakt van de minst gedetailleerde bodemkaart met een schaal 1 : 1 000 000. Per kaartvlak is alleen een van de meest voorkomende combinaties van bodemtype en grondwaterstand, zoals onderscheiden op de kaart 1 : 50 000 in beschouwing genomen (tabel 2).

Tabel 2. In beschouwing genomen bodemeenheden en grondwatertrappen
(schaal 1 : 50 000) per kaartvlak van de bodemkaart schaal
1 : 1 000 000 1)

Legenda eenheid schaal 1 : 1 000 000	Code Bodemeenheid 2) schaal 1 : 50 000	Grondwater- trap 2) 3)
Veengronden		
1 koopveengronden	hVb	II
2 madeveen- e.a. gronden	aVz	I
3 vlierveengronden	Vs	I
4 waardveen- e.a. gronden	kVs	II
5 meerveen- e.a. gronden	iVs	IV, VI
6 vergraven veengronden	-	I
Podzolgronden		
7 holtpodzolgronden	Y23	VII*
8 haarpodzolgronden	Hd21	VII
9 veldpodzol- e.a. gronden	Hn21	IV, VI
Brikgronden		
10 radebrik- e.a. gronden	Bld6	VII*
11 brik- e.a. gronden	-	VII*
Eerdgronden		
12 beekeerd- e.a. gronden	pZg21	III*, V*
13 enkeerd- e.a. gronden	zEZ21	VII*
14 plaseerd- e.a. gronden	pMo80	III, V
15 leekeerd- e.a. gronden	pMn85C	III*, V*
Vaaggronden		
16 vlakvaaggronden	Zn	III*, V*
17 duinvaag- e.a. gronden	Zd21	VII*
18 slikvaag- e.a. gronden	pM0o05	I
19 poldervaag- e.a. gronden	KRn2	IV, VI
20 ooivaag- e.a. gronden	Rn95C	VII
21 poldervaaggronden (kalkhoudend)	Mn25A	IV, VI
22 poldervaaggronden (kalkarm)	kMn43C	III, V

1) Steur, 1986.

2) Steur en Heijink, 1983.

3) Grondwatertrappen met eenzelfde gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zijn samengevoegd.

De relatie tussen de grondwatertrap en de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand staat vermeld in tabel 3.

Tabel 3. De GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) en GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) in cm beneden maaiveld gemeten bij verschillende grondwatertrappen (Naar van der Sluijs, 1985)

Gt	GHG	GLG
I	0	40
II	10	70
II*	35	70
III	20	100
III*	35	100
IV	60	100
V	20	140
V*	35	140
VI	60	160
VII	100	190
VII*	190	280

De gevolgde werkwijze impliceert dat geen volledig beeld wordt verkregen omdat met een zeer beperkt aantal combinaties van bodemeenheden en grondwatertrappen wordt gerekend. Plaatselijk kunnen daardoor andere bodemeenheden en/of grondwatertrappen voorkomen die kwetsbaarder zijn voor fosfaatverzadiging of nitraatuitspoeling dan de in tabel 2 vermelde combinaties. Bovendien is geen rekening gehouden met de variatie in eigenschappen die binnen een bodemeenheid en/of grondwatertrap op kan treden. Ook dit leidt tot een onderschatting van de effecten.

3.3 Modelparameters voor fosfaatverzadiging

Voor de berekening van het fosfaatbindend vermogen zijn gegevens nodig van de profielopbouw, dichtheid en Al_{ox} - en Fe_{ox} -gehalten.

De gegevens van de profielopbouw en de dichtheid konden worden verzameld omdat STIBOKA van oudsher deze gegevens heeft vastgesteld via de systematische bodemkartering. Voor de profielopbouw van elke 50 000 legenda eenheid is een profielschets gekozen uit de toelichting bij de bodemkaart. Uit deze profielbeschrijving zijn de horizontscodering en de horizontsdikten overgenomen. De gegevens voor de dichtheid van de niet-moerige gronden zijn verkregen via een relatie ("vertaalfunctie") met het percentage humus en lutum (kleigronden) of met het percentage organische stof en silt en de mediaan van de zandfractie (Hoekstra en Poelman, 1982). De dichtheden van moerige horizonten zijn onder andere voor dit onderzoek geïnventariseerd (van Wallenburg, 1987; interne notitie). De dichtheden van de A-horizonten van veengronden zijn geschat (van Wallenburg, 1987; pers. med.), omdat op korte termijn geen inventarisatie van deze dichtheden mogelijk was.

Het systematisch verzamelen van Al_{ox} - en Fe_{ox} -gehalten is gestart in 1982 toen de fosfaatproblematiek zich duidelijk begon af te tekenen. Daarbij zijn in eerste instantie zandgronden bemonsterd omdat deze problematiek zich vooral hier voordoet. Hierdoor zijn van de overige gronden zeer weinig gegevens voorhanden. Tevens is nog niet bekend of vergelijking (4) ook voor niet-zandgronden geldt, zoals in dit onderzoek is aangenomen. Het totaal fosfaatbindend vermogen is berekend tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). De gegevens zijn weergegeven in klassen (tabel 4).

Tabel 4. De indeling van het fosfaatbindend vermogen in klassen

Klasse	Fosfaatbindend vermogen ton P_2O_5 per ha
I	0 - 5
II	5 - 10
III	10 - 20
IV	20 - 30
V	30 - 50
VI	50 - 100
VII	> 100

Elke legenda-eenheid van de bodemkaart 1 : 1 000 000 is toegewezen aan een van deze klassen (tabel 5). In deze tabel staat ook het aantal profielen aangegeven op grond waarvan de berekeningen hebben plaatsgevonden. Hieruit blijkt de grote discrepantie tussen de informatie over zandgronden en die over klei- en veengronden. Daarbij dient nog opgemerkt te worden dat lang niet alle gegevens van de zandgronden die de afgelopen jaren zijn bemonsterd en verzameld voor dit onderzoek beschikbaar waren. Voor de gronden waarvan nog geen gegevens aanwezig waren zijn de volgende aannamen gedaan:

- De zeer natte klei-arme vlierveengronden (nr. 3) en de vergraven veengronden (nr. 6) bezitten waarschijnlijk nagenoeg geen fosfaatbindend vermogen in verband met de hoge grondwaterstand en de afwezigheid van minerale bodemcomponenten.
- De krijtverweringsgronden van Limburg (brikgronden nr. 11) zijn in dezelfde klasse ingedeeld als de radebrikgronden (nr. 10) in verband met hun lage grondwaterstand.
- De buitendijkse gronden (slikvaaggronden nr. 18) zijn zeer nat en daarom in de laagste klasse ingedeeld.
- De zware kleigronden (poldervaaggronden nr. 22) zijn in dezelfde klasse ingedeeld als de kleihoudende leekeerd- en plaseerdgronden, omdat ze vaak een vergelijkbare grondwaterstand hebben.

Voor de berekening van de effecten van bemestingsscenario's moet ook rekening worden gehouden met de hoeveelheid fosfaat die zich op dit moment reeds in de bodem bevindt. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid en door de bemesting in het verleden. Het van nature aanwezige fosfaat is meestal een gering deel van de totale vastleggingscapaciteit en daarom in dit onderzoek verwaarloosd. De fosfaatbemesting in het verleden kan worden geschat met behulp van CBS-gegevens (Breeuwsma en Schoumans, 1986). In de bodemmodule van het vermistingsmodel is aangenomen dat de bemesting vanaf 1970 volgens de huidige fosfaatnorm heeft plaatsgevonden (RPC, 1987).

Tabel 5. Toedeling van legenda-eenheden van de bodemkaart schaal
1 : 1 000 000 aan klassen voor het fosfaatbindend vermogen
(FBV) tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand (zie tekst)

Legenda eenheid	FBV 1)	n 1)
1 : 1 000 000	klasse	
Veengronden		
1 koopveengronden	II	(3)
2 madeveen- e.a. gronden	I	(1)
3 vlierveengronden	I	(-)
4 waardveen- e.a. gronden	II	(2)
5 meerveen- e.a. gronden	II	(1)
6 vergraven veengronden	I	(-)
Podzolgronden		
7 holtpodzolgronden	IV	(10)
8 haarpodzolgronden	V	(7)
9 veldpodzol- e.a. gronden	IV	(25)
Brikgronden		
10 radebrik- e.a. gronden	V	(3)
11 brik- e.a. gronden	V	(-)
Eerdgronden		
12 beekerd- e.a. gronden	III	(14)
13 enkerd- e.a. gronden	V	(15)
14 plaseerd- e.a. gronden	III	(2)
15 leekeerd- e.a. gronden	III	(2)
Vaaggronden		
16 vlakvaaggronden	II	(8)
17 duinvaag- e.a. gronden	IV	(4)
18 slikvaag- e.a. gronden	I	(-)
19 poldervaag- e.a. gronden	IV	(2)
20 ooivaag- e.a. gronden	VII	(2)
21 poldervaaggronden (kalkhoudend)	V	(1)
22 poldervaaggronden (kalkarm)	III	(-)

1) n is het aantal bodemprofielen waarop de informatie is gebaseerd

3.4 Modelparameters voor nitraatuitspoeling

Voor de berekening van de nitraatuitspoeling zijn naast de belastings- en onttrekkingsgegevens (3.1) de volgende gegevens gebruikt:

- De vervluchtigingsfractie

Vervluchtiging bij uitrijden is afhankelijk van de weersomstandigheden, de bodemgebruiksvorm (grasland, bouwland) en het tijdstip van inwerken van de mest (bouwland en maïs). De vervluchtigingsfractie bedraagt bij grasland ca. 0.3% (Sluysmans et al., 1978). De vervluchtigingsfractie op bouwland en maïs, is sterk afhankelijk van het tijdstip van inwerken (tabel 6).

Tabel 6. Ammoniakverliezen op bouwland bij uitrijden en inwerken van drijfmest, uitgedrukt als fractie van de minerale stikstof in de mest (Kolenbrander, 1981).

Inwerkingstijdstip (dagen)	vervluchtigingsfractie (-)
1	0.20
2	0.35
5	0.60
10	0.80
15	0.95
25	1.00

Bij injecteren van de mest is de vervluchtiging verwaarloosbaar of zeer gering. Zowel voor bouwland als grasland zijn in dit geval fracties aangehouden variërend van 0.00 tot 0.05.

- De denitrificatiefractie

Deze fractie is berekend door vermenigvuldiging van een faktor die afhankelijk is van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en een bodemtype (BT)-afhankelijke faktor.

De GHG-faktor is afgeleid uit lysimeterexperimenten van Steenvoorden (1983), waarbij in zandgronden de nitraatuitspoeling bij verschillende grondwaterstanden is gemeten. Daarbij is aangenomen dat bij

een grondwaterstand van 1,50 beneden maaiveld (Gt VII*) de denitrificatie verwaarloosbaar is zodat dan geldt: stikstof uitspoeling = netto stikstof belasting. Door aan te nemen dat het verschil in uitspoeling bij verschillende grondwaterstanden alleen het gevolg is van denitrificatie, is afgeleid met welke faktor de netto stikstof belasting (de referentie-uitspoeling bij een grondwaterstand van 1,50 beneden maaiveld) moet worden vermenigvuldigd, om de waargenomen nitraatuitspoeling te kunnen berekenen. De berekende GHG-factoren behorende bij een bepaalde grondwatertrap (en GHG) zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. GHG-factoren afhankelijk van de grondwatertrap

Gt	II	III/V	III*/V*	VI	VII	VII*
GHG	0.07	0.17	0.32	0.61	1.01	1.85
GHG-faktor	1.0	0.9	0.8	0.6	0.3	0.0

De BT-faktor is afgeleid uit gegevens van Dilz en Woldendorp (1960). Deze hebben experimenteel gevonden dat de denitrificatie afneemt in de richting veengrond > kleigrond > zandgrond. Ten opzichte van zandgronden is de BT-faktor voor veen- en kleigronden gelijk aan 1.8 resp. 1.3 gesteld. De berekende denitrificatiefractie (GHG-faktor * BT-faktor) werd maximaal gelijk gesteld aan 1. De berekende denitrificatiefractie per legenda-eenheid is in tabel 8 weergegeven.

Tabel 8. De denitrificatiefractie van de legenda-eenheden van de bodemkaart schaal 1 : 1 000 000

legenda-eenheid 1)	denitrificatiefractie
- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 22	1.0
- 14	0.9
- 12, 15, 16, 19, 21	0.8
- 9	0.6
- 8, 13	0.3
- 7, 10, 11, 17, 20	0.0

1) de nummers refereren naar de legenda-eenheden zoals weergegeven in tabel 2

4. BRUIKBAARHEID VAN DE INFORMATIE

De geleverde informatie en de opzet van het vermestingsmodel zijn bedoeld om inzicht te verschaffen in de gevolgen van de stikstof- en fosfaatstromen die op landelijke schaal en op langere termijn optreden. Met het model kunnen in principe verschillen in kwetsbaarheid tussen landbouwgebieden worden aangegeven maar geen regionale verschillen binnen landbouwgebieden. Door het werken met gebiedsgemiddelden wordt immers geen indruk gekregen van de termijn waarop lokaal fosfaatdoorslag of normoverschrijdende nitraatuitspoeling optreedt. Daarnaast zijn er nog andere beperkingen die bij de toepassing van het model in acht moeten worden genomen:

1. De bodemopbouw is zeer sterk geschematiseerd. Bodemtypen die (zeer) kwetsbaar zijn voor fosfaatverzadiging of nitraatuitspoeling zijn buiten beschouwing gelaten wanneer ze niet tot de meest voorkomende eenheden behoren. Verder is de ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen die binnen een bodemtype voor kan komen verwaarloosd.
2. Van een groot aantal bodemtypen zijn weinig of geen gegevens bekend van de bodemkenmerken die van belang zijn en/of van de relaties tussen deze kenmerken en de modelparameters (vertaalfuncties).
3. De gehanteerde modellen zijn sterk vereenvoudigd omdat meer gedetailleerde modellen nog meer gegevens vragen die niet aanwezig zijn. Effecten van beheersmaatregelen met betrekking tot het landbouwkundig gebruik van bodem en meststoffen kunnen daardoor slechts in beperkte mate worden berekend.

De eerst genoemde beperking speelt vooral een rol bij fosfaat. De bodemschematisatie leidt in dit geval duidelijk tot een onderschatting van de termijn waarop er werkelijk doorslag van fosfaat optreedt. De tweede beperking is vooral van belang voor de nitraatuitspoeling omdat de vertaalfuncties hier het slechts bekend zijn. De derde beperking geldt zowel voor fosfaat als nitraat.

Bij fosfaat is nog geen rekening gehouden met oververzadiging en desorptie en met de relatie tussen de fosfaatverzadiging en de uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Bij nitraat is een empirisch model gebruikt waarbij de rol van stikstofomzettingsprocessen in de bodem (zoals mineralisatie, immobilisatie, nitrificatie en adsorptie) niet expliciet is aangegeven en de effecten van maatregelen daarop niet kunnen worden berekend.

Uit het bovenstaande moge blijken dat de geleverde informatie op verschillende onderdelen nog sterk moet worden verbeterd. De huidige versie van de bodemmodule in het verzuringsmodel vormt een eerste stap in het kwantificeren van effecten op nationale schaal en kan als zodanig een nuttige functie vervullen bij het toekomstige vermestingsonderzoek.

LITERATUUR

- Aalst, R.M. van 1984. Verzuring door atmosferische depositie: atmosferische processen en depositie. Publikatiereeks Milieubeheer.
- Breeuwsma, A., 1984. De fosfaathuishouding van zandgronden in relatie tot waterkwaliteit. Stichting voor Bodemkartering, rapport 1840.
- Breeuwsma A. en O.F Schoumans, 1986. Fosfaatophoping en -uitspoeling in de bodem van mestoverschotgebieden, Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1866.
- Centraal Bureau voor de Statistiek, 1986. Productie van dierlijke mest 1984. CBS-publikatie.
- Dilz, K. and J.W. Woldendorp, 1960. Distribution and nitrogen balance of 15 N-labelled nitrate applied on grass sods. The Nitrogen Cycle, Proc. 8th Int. Grassl. Congr., p.p. 150-152.
- Dilz, K., B.A. ten Hag, H.W. Lammers en L.C.N. de la Lande Cremer, 1984. Fertilization of forage maize in the Netherlands. Neth. Nitr. Techn. Bull., 14 p.p. 7-19.
- Handboek voor de akkerbouw, 1973. Dl. II. Technisch bedrijfsverband en bedrijfssynthese. Publikatie nr. 10, PAGV, Lelystad.
- Hoekstra en Poelman, 1982. De dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland, Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1582.
- Kolenbrander, G.J., 1981. Fertilizers and pollutants. Trans. 12th Int. Congr. Soil Sc., New Delhi, p.p. 248-266.
- Kragt J.F. en De Vries, 1987. Onderzoek naar de effecten van mestbeperking op de nitraatuitspoeling in waterwingebieden in Overijssel. 1. Beschrijving van RENLEM: een nitraatuitspoelingsmodel voor toepassing op regionale schaal. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1935.
- Lammers, H.W., G.J. Kolenbrander, K.W. Smilde, T.A. van Dijk, P.E. Rijtema en Ch.H. Henkens, 1983. Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland. CBL, Wageningen.
- Lexmond, Th. M., W.M. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. Fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij. Bodembeschermingsreeks nr. 9. vroegere ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiene, Staatsuitgeverij, 159 pp.

- Ministerie van Landbouw & Visserij van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1987. Ammoniak en Veehouderij. Richtlijn in het kader van de Hinderwet.
- Recources Planning Consultants, 1987. Globaal Vermestingsmodel. In voorbereiding.
- Schoumans, O.F., W. De Vries en A. Breeuwsma, 1986. Een fosfaat-transportmodel voor toepassing op regionale schaal. Stichting voor Bodemkartering, rapport 1951.
- Sluijs v.d. P., 1985. Grondwatertrappen. In: Bodemkunde (hoofdstuk 11). Eds: W.P. Locher en H. de Bakker. Uitg.: Malmberg, Den Bosch.
- Sluysmans, C.M.J., T.A. van Dijk, G.J. Kolenbrander, L.C.N. de la Lande Cremer, K.W. Smilde en C.H.E. Werkhoven, 1978. De mest- en gierverspreiding op landbouwgrond in de EG. I. Wetenschappelijke basis voor het beperken van de verspreiding van criteria voor regulerende maatregelen. Comm. EG, Inf. over de Landb., 47.
- Steenvoorden, J.H.A.M., 1983. Nitraatbelasting grondwater in zandgebieden; denitrificatie in de ondergrond. ICW-nota 1435.
- Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1983. Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Steur, G.G.L., 1986. Bijlage 2 bij Systeem voor bodemclassificatie voor Nederland, H. de Bakker en J. Schelling, bijdruk 1986. Pudoc, Wageningen.
- Vries, W. de, J.F. Kragt and A. Breeuwsma, 1987. Using soil maps to predict nitrate leaching with a regional transport model. Proceedings of the International Conference on the Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants (VSGP). Noordwijk aan Zee: 30 march-3 april, 1987.
- Wijnands, J.H.M., F.F. de Kruif, K. Lodder en H.H. Luesink, 1983. Het kunstmestgebruik in de land- en tuinbouw in 1979/1980. LEI, publicatie 3.125.