

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE
BILTHOVEN

Deelrapport nr. 728472013

**Nitraatgehalten en kwaliteit van het
grondwater onder grasland in de zandgebieden.**

L.J.M. Boumans
C.R. Meinardi
G.J.W. Krajenbrink

juni 1989

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-
Generaal Milieubeheer Directie Drinkwater, Water, Bodem.
(Opdrachtbriefnr. BWS/2254290 d.d. 31 juli 1984)

Verzendlijst

- 1 - 3 Hoofd van de hoofdafdeling Bodem, Directie Drinkwater, Water,
 Bodem, Ministerie van VROM
- 4 Secretaris-Generaal van het Ministerie van Welzijn,
 Volksgezondheid en Cultuur
- 5 Directeur-Generaal Milieubeheer, Ministerie van Volksgezondheid,
 Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
- 6 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Ministerie van
 Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
- 7 Directie RIVM
- 8 ir.F.Langeweg
- 9 dr.ir.C. van den Akker
- 10 dr.ir.J.P.G.Loch
- 11 ir.W. van Duijvenbooden
- 12 - 20 leden projectgroep "Nitraat"
- 21 Projecten en rapportenregistratie
- 22 - 23 Bibliotheek RIVM
- 24 - 25 LBG/SGO
- 26 - 31 Auteurs
- 32 - 60 Reserve

INHOUDSOPGAVE

	Verzendlijst	ii
	Inhoudopgave	iii
	Figuren en tabellen	iv
	Summary	v
	Samenvatting	vi
1	INLEIDING	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Stikstofbalans	2
1.3	Stikstofuitspoeling	5
1.4	Doel	8
2	GEGEVENSVERZAMELING	9
2.1	Lokatiekeuze	9
2.2	Stikstoftoediening	9
2.3	Grondwaterstand en bodemtype	13
2.4	Grondwaterkwaliteit	14
2.4.1	Bemonstering	14
2.4.2	Analyses en verwerking	17
3	RESULTATEN EN INTERPRETATIE	18
3.1	Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater	18
3.2	Invloed grondwatertrap	21
3.2.1	Absoluut	21
3.2.2	Gecorrigeerd voor de N-toediening	22
3.2.2.1	De ondiepe boringen	24
3.2.2.2	Diepe (6m) boringen	24
3.2.3	Relatief ten opzichte van GT VII*	25
3.3	Relaties tussen nitraatgehalten enerzijds en de andere grondwaterkwaliteitsparameters, N-toediening, bodemtype en het bedrijf anderzijds	27
3.3.1	Regressie-analyse	27
3.3.2	Ondiepe boringen (bovenste grondwater)	31
3.3.3	Diepe boringen	34
4	CONCLUSIES	38
	Literatuur	40
	Bijlage	42

Figuren en tabellen

- 1 Lokaties van de stikstofproefbedrijven
- 2 Stikstofbalans voor gras- en maisland in de zandgebieden
- 3 Verrijking van het percolatiewater met nitraat op zandgrasland bij het bereiken van het grondwater in mg/l als nitraat-stikstof, in de evenwichtssituatie (Lammers, 1984)
- 4 Uitspoeling van stikstof op bouw- en grasland (Kolenbrander, 1981)
- 5 Gemiddelde toediening van N als kunstmest en dierlijke mest (kunstmest+drijfmest+excrementen) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) per bedrijf.
- 6 Histogrammen van het aantal grondwatermonsters per stikstoftoedieningsklasse ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) in de vorm van kunstmest, beweiding, en kunstmest+beweiding+drijfmest= totale N-toediening
- 7 Grondwatertrappen (GT)
- 8 Histogram van de bemonsteringdiepten, ten opzichte van het maaiveld, per waarneming van het grondwater
- 9 Bemonsteringstijdstippen van het grondwater per bedrijf
- 10 Histogrammen van de waarden van gemeten grondwaterkwaliteitsparameters
- 11 Overzicht van bemonsteringdiepten, grondwaterkwaliteit en stikstoftoediening van grondwatermonsters uit diepe (6,15m) en ondiepe boringen
- 12 Aantal waarnemingen en gemiddeld nitraat-N concentratie uit de ondiepe en diepe (6m) boringen per grondwatertrap
- 13 Invloed van de grondwatertrap op de nitraat-N concentraties uit de ondiepe en diepe (6m) boringen bij gemiddelde stikstoftoediening in de vorm van beweiding, kunstmest en drijfmest
- 14 Relatieve nitraatconcentraties in de ondiepe boringen, afhankelijk van de grondwatertrap, ten opzichte van de nitraatconcentraties bij grondwatertrap VII*
- 15 Verklaring (7 regressie modellen) voor de afzonderlijke nitraatconcentraties in de ondiepe boringen
- 16 Gemiddelde nitraat-N concentratie per GT en bedrijf, uit ondiepe en diepe (6m) boringen
- 17 Verklaring (7 regressie modellen) voor de afzonderlijke nitraatconcentraties in de diepe (6m) boringen

SUMMARY

Nitrate content of groundwater, withdrawn for drinking water, is increasing. Most groundwater pumping stations are situated in the sandy regions. The main part (70%) of the sandy surface in agricultural use, is grassland. Maize is grown on 20%.

Nitrogen applications on maize and grassland are estimated to be 700 kg.ha⁻¹.a⁻¹. On maize nitrogen is applied as manure and on grassland mostly (400 kg) as artificial fertilizer. Regulation of the use of manure in order to reduce the nitrogen leaching, has little effect for grassland areas. To predict the actual and future nitrate content of groundwater, knowledge of nitrate leaching from grassland is therefore necessary.

Nitrate content and groundwater quality down to 13 m below soil surface have been mapped at ten dairy farms, evenly distributed in the sandy regions. Three global empirical relations between nitrogen application, groundwater table and leaching have been tested. The influence of artificial fertilizer, manure and grazing on leaching has been analysed.

A clear influence of the groundwater table is found. The groundwater table rising in or near the root zone will cause nitrate to be denitrified and disappear. According to the results nitrate leaching increases respectively at equal nitrogen input by grazing, artificial fertilizer and manure.

Extrapolating the results from the farms to the sandy regions, 90% of the groundwater will exceed the EG-directive for nitrate in drinking water, now and in the future.

Samenvatting

Stikstofuitspoeling van de wortelzone is afhankelijk van toediening, grondgebruik, grondwaterstandsverloop, bodemtype, gewasopname en het weer. Om bestaande relaties, tussen stikstoftoediening en -uitspoeling, in de praktijk te testen zijn de nitraatconcentraties van grond- en drainwater van grasland onderzocht op 10 stikstofproefbedrijven. Deze praktijkbedrijven hebben een moderne bedrijfsvoering en liggen verspreid in de Nederlandse zandgebieden. Over de stikstofproefbedrijven bestaan jaarverslagen waarin de bedrijfsvoering is bijgehouden. Daardoor is de stikstoftoediening hier beter bekend dan op andere bedrijven.

Stikstof in de vorm van dierlijke mest is, volgens landbouwkundig onderzoek, minder beschikbaar dan kunstmest-stikstof voor plantevoeding. Kunstmest (minerale stikstof) moet in het voorjaar worden toegediend en is dan optimaal beschikbaar voor plantopname. Maar ook nu zijn er verliezen. Door dit alles wordt meer stikstof aan grasland toegediend dan wordt opgenomen door de plant. Het teveel kan denitrificeren, uitspoelen, worden vastgelegd en vervluchtigen.

Lammers, (1984) berekent dat bij een totale stikstoftoediening van 700 kg per hectare grasland, per jaar, (waarvan 400 kg beschikbaar voor het gewas) de nitraat-stikstofconcentraties in het grondwater lager zijn dan de EG-norm voor drinkwater (11,3 mg/l).

Kolenbrander, (1981) geeft een relatie tussen de toediening van minerale stikstof en de uitspoeling. Hierbij wordt aangenomen dat het neerslagoverschot $300 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ is en dat de grondwaterstand dieper dan 1 meter onder het maaiveld staat. Volgens de relatie van Kolenbrander is het nitraat-stikstofconcentratie in het grondwater, als $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ minerale stikstof wordt gegeven, 23 mg/l.

De relatie van Kolenbrander zegt niets over dat deel van de toegediende dierlijke mest dat niet beschikbaar is voor plantopname. De relatie van Kolenbrander tussen toediening van minerale stikstof en nitraat-uitspoeling kan worden geïnterpreteerd als de minimale stikstofuitspoeling. Als echter

wordt aangenomen dat de stikstoftoediening en -mineralisatie met elkaar in evenwicht zijn, dan is de jaarlijkse totale stikstoftoediening gelijk aan de minerale hoeveelheid stikstof die in het profiel komt. Door beweiding zal een deel van de toediening niet-egaal (niet-optimaal) plaatsvinden en een gedeelte van de mineralisatie zal plaatsvinden op een tijdstip dat het gras het niet kan opnemen. Ook bij evenwicht is de toegediende dierlijke stikstof daarom minder beschikbaar voor plantevoeding dan kunstmest en zal meer uitspoelen, denitrificeren etc.

Naast stikstofuitspoeling is ook gekeken naar kalium, fosfaat, chloride, pH en elektrische geleidendheid.

De conclusies van het onderzoek zijn:

- De nitraatgehalten in het grondwater onder grasland van 10 praktijkbedrijven in de zandgebieden zijn hoger dan verwacht kan worden op basis van de relatie van Lammers, tussen stikstoftoediening en uitspoeling, en zijn ook afhankelijk van de grondwatertrap.

- De gemiddelde stikstofuitspoeling is overeenkomstig de relatie van Kolenbrander voor de toediening van kunstmest stikstof en het minerale deel van de stikstof uit dierlijke mest, als niet wordt gecorrigeerd voor de grondwatertrap. Als wel wordt gecorrigeerd voor de grondwatertrap dan voorspelt bovengenoemde relatie een te lage nitraatuitspoeling. Blijkbaar moet ook rekening worden gehouden met organische stikstof.

- Volgens de opvatting die algemeen geldt, zal door beweiding extra stikstof aan het land worden toegediend, die nauwelijks bemestende waarde heeft en die extra uitspoelt in de vorm van nitraat. De verwachting dat door beweiding meer nitraat uitspoelt, op perceelsniveau, wordt echter door de resultaten van dit onderzoek tegengesproken. Aanbevolen wordt om onder meer gecontroleerde omstandigheden, het verschil in nitraatuitspoeling, tussen permanent beweid en permanent gemaaid grasland, te onderzoeken.

- De kaliumgehaltes in het bovenste grondwater van de bedrijven overschrijden de EG-drinkwaternorm. De gehalten aan sulfaat, chloride en de elektrische geleidendheid zitten onder de norm maar overschrijden het EG-

richtniveau.

- Als de totale stikstofgift op grasland ongeveer $700 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ bedraagt en de verdeling van het grondwaterstandsverloop over de zandgebieden is volgens Haans en van Soesbergen (1977) dan zal, volgens de resultaten van het onderzoek, op ongeveer 90 % van het zandgrasland de EG-drinkwaternorm in het bovenste grondwater worden overschreden. Het Besluit gebruik dierlijke meststoffen, zal de totale stikstoftoediening op grasland, ook bij de eindnorm in 2000, weinig of niet verminderen en dus ook niet de uitspoeling.

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer wordt door het RIVM onderzoek verricht naar het voorkomen en gedrag van N-verbindingen in het grondwater. Doel van het onderzoek is het leveren van een technisch-wetenschappelijke onderbouwing van het milieubeleid op het gebied van het gebruik van meststoffen in de landbouw. In dit kader wordt onder andere aandacht geschonken aan het denitrificerend vermogen van de bodem en de diepere ondergrond en worden modellen ontwikkeld met behulp waarvan het mogelijk is om de gevolgen van diverse bemestingsscenario's voor de kwaliteit van het grondwater te schatten.

Bij het onderzoek kunnen diverse deelstudies worden onderscheiden en wel:

- laboratorium onderzoek, primair gericht op de ontwikkeling van methoden ter bepaling van het denitrificerend vermogen van de ondergrond, alsmede het bepalen van dit vermogen in de vanuit het veldonderzoek aangeleverde grondmonsters, teneinde een daarop gerichte kartering van de zandgebieden mogelijk te maken;
- veldonderzoek naar het voorkomen en gedrag van N-verbindingen in de Nederlandse zandgronden, inclusief de gevolgen van bemesting voor het oppervlaktewater;
- het ontwikkelen van modellen die het voorkomen en gedrag van N-verbindingen in bodem en grondwater beschrijven in relatie met bemestingsintensiteit, bodemtype en grondwatertrap;
- het uittesten van de ontwikkelde modellen in een proefgebied.

FIG.1



Het RIVM en het Nederlands Meststoffen Instituut onderzoeken in dit kader de samenstelling van het drain- en grondwater van een tiental grasland bedrijven in de zandgebieden (zie figuur 1).

Dit rapport beschrijft de nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater van de onderzochte graslandbedrijven. Er worden aparte rapporten gemaakt van de bedrijfsvoering, de lokale situatie per bedrijf, het uitgevoerde onderzoek en de toegepaste onderzoeksmethoden (v.d. Valk, in voorbereiding).

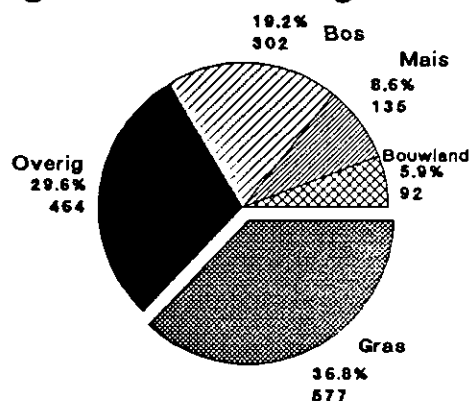
In volgende paragraaf worden stikstofoverschotten en de te verwachten uitspoeling gegeven.

1.2. Stikstofbalans

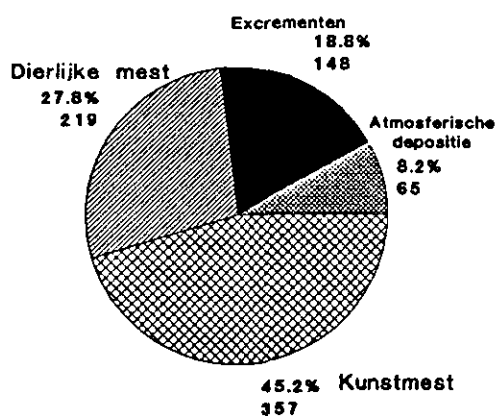
In figuur 2 staat een stikstofbalans voor het mais- en grasland in de zandgebieden in Nederland; dat in agrarisch gebruik is (Van Drecht, 1988). Het agrarisch deel van de zandgebieden bestaat voor 70% uit grasland, op 20% wordt mais verbouwd en op 10% overige gewassen. De stikstof (N) toediening, in de vorm van kunstmest, is voor grasland ongeveer 360 kilo per hectare en per jaar ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$). De totale N-productie van een koe met bijbehorend jongvee is $160 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ (Lammers, 1984). waarvan circa de helft direct wordt uitgescheiden op het weiland en de andere helft als drijfmest wordt toegediend. Als per hectare 2,3 koe inclusief jongvee wordt gehouden en alle mest op het grasland terecht komt, dan is de totale N-toediening ongeveer $790 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Uit landbouwkundig onderzoek kan worden afgeleid dat de N, die door beweiding is toegediend, nauwelijks effectief is in vergelijking met kunstmest (Lammers, 1984; Lantinga et al., 1987). Drijfmestgiften zijn voor slechts 24% effectief (Van der Meer et al., 1987, Jarvis et al., 1987).

Figuur 2: Stikstofbalans voor gras- en maisland in de zandgebieden

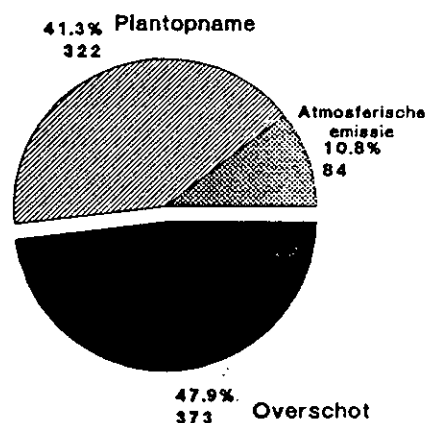
Grondgebruik zandgebieden (kha)



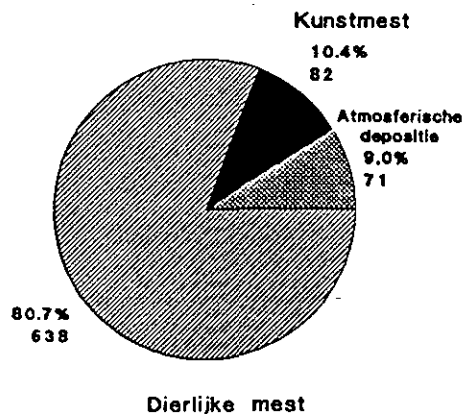
Aanvoer N gras kg/(ha.a)



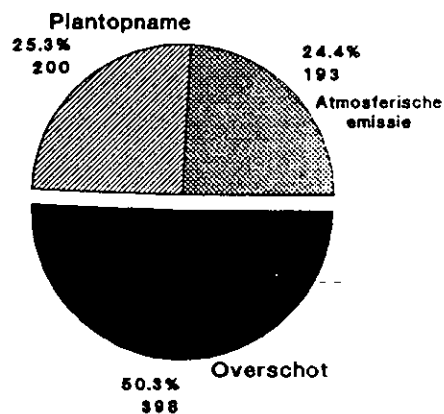
Afvoer N gras



Aanvoer N mais



Afvoer N mais



Op maisland is de totale N toediening ook ongeveer $790 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ en hiervan is meer dan 80% afkomstig uit dierlijke mest. Volgens het voorgaande is de beschikbaarheid van deze toediening voor plantevoeding, vergeleken met kunstmest, slechts circa $300 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$.

Het overschot van N op grasland bedraagt circa $380 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ en op mais circa $400 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$. Volgens Van Bohemen(1988) bedraagt het N-overschot op gras $345 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$.

De overheid is in 1987 begonnen om de gift van dierlijke mest, op basis van het fosfaatgehalte, te beperken door middel van een Algemene Maatregel Van Bestuur (Besluit gebruik dierlijke meststoffen, Wet bodembescherming) Deze beperking wordt in vier fasen uitgevoerd. Als de laatste fase bereikt is (jaar 2000) mag nog maar $160 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ aan N worden gegeven middels dierlijke mest op maisland. De rest van de benodigde stikstof (145 kg) zal gegeven worden in de vorm van kunstmest die beter beschikbaar is.

Op grasland mag volgens de eindnorm van genoemd besluit, maximaal $320 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ aan N in de vorm van dierlijke mest (drijfmest + beweiding) worden toegediend met een bemestende waarde van 50 kg kunstmeststikstof. Als $400 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ optimaal beschikbare N op grasland wordt geadviseerd, dan zal 350 kg in de vorm van kunstmest worden bijgegeven. De totale toediening is dan $724 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ aan N. Er verandert weinig in de totale toediening.

Door het Besluit gebruik dierlijke meststoffen wordt de jaarlijkse N toediening op maisland belangrijk minder dan op grasland. Als het areaal grasland en maisland, van de zandgebieden, hetzelfde blijft dan zal de meeste N aan grasland worden gegeven en wordt het totale overschot en het overschot per hectare op grasland het grootst. De invloed van het Besluit gebruik dierlijke meststoffen op de nitraatgehalten in grond- en drainwater zal daarom vooral afhangen van de uitspoeling van grasland.

1.3. Stikstofuitspoeling

Veel modellen proberen met fysische en microbiologische processen de N-uitspoeling te beschrijven, maar de waarden voor de benodigde parameters zijn onvoldoende bekend.

Er zijn in Nederland twee bekende (globaal-empirische) berekeningswijzen voor de N-uitspoeling, die in het vervolg worden aangeduid met de relatie Lammers en Kolenbrander. De uitspoelingsrelaties van Lammers en van Kolenbrander, kunnen wel getoetst worden aan een kartering van de nitraatuitspoeling.

Door Lammers(1984) is een berekening gemaakt van de N-uitspoeling op graslandbedrijven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen uitspoeling uit beschikbare N, dierlijke mest en mineralisatie (dit is het vrijkomen van N uit de bodem in een vorm die voor planten opneembaar is). Bovendien wordt rekening gehouden met het tijdstip waarop de dierlijke mest wordt toegediend en beweiding. De conclusie is dat de aanrijking van het grondwater met nitraat, maar weinig verschilt als gevolg van de bedrijfsvoering. Als 400 kg N voor plantevoeding beschikbaar is uit de toegediende kunstmest en het minerale deel van de organische mest, dan spoelt volgens de relatie Lammers minder dan 11,3 mg/l (EG-drinkwaternorm) uit naar het grondwater. Tabel 3 is overgenomen uit Lammers, 1984

Tabel 3; Verrijking van het percolatiewater met nitraat op zandgrasland bij het bereiken van het grondwater in mg/l als nitraat-stikstof, in evenwichtssituatie (Lammers,1984)

koeien per ha	door gebruik	door N beschik-	uit org.	totaal
inclusief	van org. mest	baar voor gewas-	stof in	
jongvee	_____	opname (400 kg N)	de grond	_____
	Ow Ov Bw Bv	in groeiseizoen		Ow Ov Bw Bv
	_____	zomer) _____		_____
1.75	1,8 1,4 2,5 2,3	3,2	2,0	7,0 6,5 7,7 7,5
2.00	2,0 1,6 2,9 2,7	3,2	2,0	7,2 6,8 8,1 7,9
2.25	2,3 1,8 3,2 2,9	3,2	2,0	7,5 7,0 8,4 8,1
2.50	2,5 2,0 3,6 3,4	3,2	2,0	7,7 7,2 8,8 8,5
2.75	2,7 2,3 4,1 3,6	3,2	2,0	7,9 7,5 9,3 8,8
3.00	- - 4,3 3,8	3,2	2,0	- - 9,5 9,0
	_____	_____	_____	_____

Ow= omweiden + mest in winter uitrijden

Ov= omweiden + mest in voorjaar uitrijden

Bw= beperkt weiden + mest in winter uitrijden

Bv= beperkt weiden + mest in voorjaar uitrijden

Uit praktijkonderzoek is echter bekend dat onder grasland hogere waarden worden gevonden (Steenvoorden en Oosterom,1986)

De nitraat uitspoeling, volgens de relatie Lammers, moet nog gecorrigeerd worden voor de invloed van de grondwaterstand (Werkgroep,1985). Bij een ondiepe grondwaterstand zal een deel van het nitraat gedenitrificeerd worden en als gasvormige N (N_2 of N_2O) verdwijnen waardoor minder nitraat uitspoelt. Hierdoor worden nog lagere nitraat gehalten in het grondwater berekend.

Kolenbrander,1981 (fig.4) geeft een relatie tussen de hoeveelheid toegediende N die voor plantevoeding beschikbaar is (minerale N), en de uitspoeling op bouw- en grasland, op zand- en kleigrond.

Als $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ aan minerale kunstmest-N wordt toegediend dan spoelt, volgens de relatie van Kolenbrander, $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ uit. Het nitraatgehalte

in het grond en drainwater bedraagt dan 23 mg.l^{-1} aan nitraat-N. Dit is meer dan tweemaal zoveel als volgens de relatie Lammers.

De relatie van Kolenbrander (figuur 4) zegt niets over stikstof in dierlijke mest die niet direct beschikbaar is voor plantopname, over de effecten van beweiding en regelmatig scheuren van grasland. De relatie van Kolenbrander tussen toediening van minerale N en uitspoeling, zonder rekening te houden met bovenstaande, kan daarom geïnterpreteerd worden als de minimale uitspoeling (minimum relatie).

(In Kolenbrander, 1981 wordt de uitspoeling door beweiding berekend met behulp van figuur 4 en hogere doseringen op een deel-oppervlak. Beweiding is echter meer dan alleen plaatselijk hogere doseringen. Het vee vertrapt bijvoorbeeld gewas en bodem.)

Als wordt aangenomen dat de stikstoftoediening en -mineralisatie met elkaar in evenwicht zijn, dan is de jaarlijkse totale stikstoftoediening gelijk aan de minerale hoeveelheid stikstof die in het profiel komt. Een gedeelte van de mineralisatie zal echter plaatsvinden op een tijdstip dat het gras het niet kan opnemen en door beweiding is de toediening niet egaal. Een gedeelte van de gemineraliseerde stikstof is daarom minder beschikbaar voor plantevoeding en zal uitspoelen, denitrificeren etc.. De relatie tussen de totale N-toediening en uitspoeling, waarbij alle N als mineraal wordt aangenomen, noemen we de maximale uitspoeling (maximum relatie). De maximale uitspoeling ("minerale" wordt vervangen door "totale" in het bijschrift van de x-as van figuur 4) is $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ aan N van een jaarlijkse totale toediening van 700 kg.ha^{-1} . (Dit is de gemiddelde toediening op de stikstofproefbedrijven.) Dit betekent dat in het grondwater ongeveer 65 mg/l aan nitraat-N zit. Dit is zes maal zoveel als Lammers voorspelt.

Uit figuur 4 kan worden afgeleid dat bij N-giften van 700 kg.ha^{-1} het verschil tussen de uitspoeling op grasland en bouwland klein wordt. Bouwland wordt jaarlijks geploegd (gescheurd) en grasland gemiddeld eens per vier jaar. Het effect van het scheuren van grasland op de nitraat-uitspoeling wordt daarom verwaarloosd.

Zoals gezegd houden de genoemde uitspoelingsrelaties geen rekening met de

grondwaterstand. Een ondiepe grondwaterstand vermindert de nitraat-uitspoeling (Werkgroep, 1985).

1.4. Doel

Om de effecten van beleidsmaatregelen op nitraatgehalten van grond- en drainwater te berekenen heeft het RIVM behoefte aan gevalideerde uitspoelingsrelaties. De bedoeling van dit onderzoek is om in de praktijk nitraatgehalten te karteren in relatie met grondwaterstand en graslandgebruik en hiermee de Lammers en Kolenbrander relatie te toetsen, en parameters aan te leveren voor een RIVM-model (NPK-model, van Drecht, 1988).

Het onderzoek zal zich daarom richten op factoren die de uitspoeling bepalen; N-toediening, grondwaterstandsverloop en bodemtype.

2. GEGEVENSVERZAMELING

Op praktijkbedrijven, waar de N-toediening per perceel, zo goed mogelijk bekend is, zijn nitraat-, sulfaat-, kalium-, ammonium-, fosfaat- en chloridegehalten in grond- en drainwater gemeten en tevens is het bodemtype en grondwaterstandsverloop bepaald

2.1. Lokatiekeuze

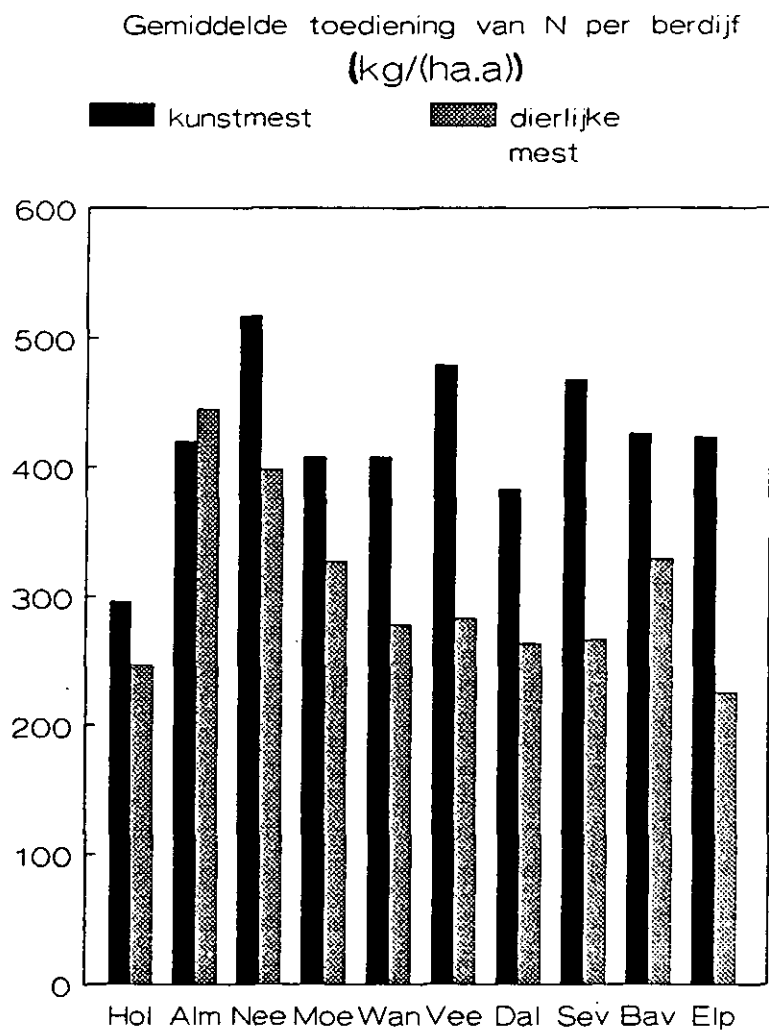
Het onderzoek heeft plaatsgevonden op bedrijven die worden (of zijn) begeleid door de landbouwconsulentschappen en het Nederlands Meststoffen Instituut (NMI). Van deze bedrijven bestaan jaarverslagen over de bedrijfsvoering. Per perceel wordt de beweiding, de kunstmestgift en de drijfmestgift bijgehouden. Dit maakt de bedrijven geschikt voor onderzoek naar de relatie tussen toediening en uitspoeling.

Het onderzoek op graslandbedrijven (rundveehouderijen) is in de zandgebieden verricht (figuur 1) omdat daar de uitspoeling het grootst is en de meeste drinkwaterwinningen evenals het eutrofiëringsgevoelige oppervlaktewater zich in de zandgebieden bevinden.

2.2. Stikstoftoediening

Figuur 5 geeft een overzicht van de N-toediening, op de N-proefbedrijven, door kunstmest en door dierlijke mest (drijfmest + beweiding).

Figuur 5 ; Gemiddelde toediening van N als kunstmest en dierlijke mest (kunstmest+drijfmest+excrementen) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) per bedrijf.



Gemiddeld is de jaarlijkse toediening van kunstmest-N ongeveer 430 kg/ha en wordt 38 ton runderdrijfmest per hectare gegeven. Het tijdstip en de hoeveelheid van de toediening van dierlijke N verschilt per perceel en per jaar. Vooral bij herinzaai van gras (globaal eenmaal per 4 jaar) wordt meer dierlijke N toegediend.

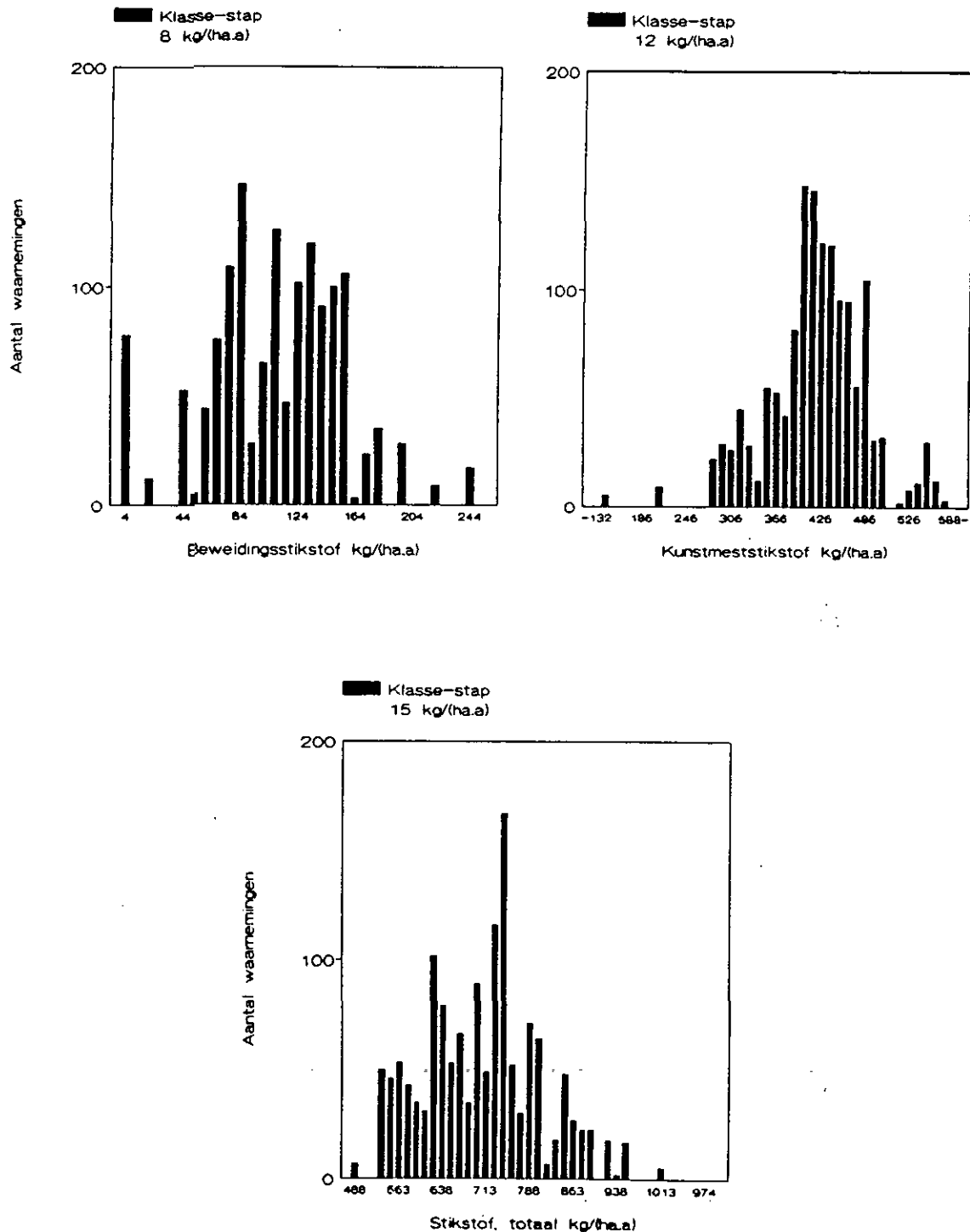
Aangenomen is dat 4,4 kg N per ton rundveedrijfmest aanwezig is. Als andere dierlijke mest is gebruikt worden ook de richtlijnen van het Consulentenschap(1985) aangehouden. Het gemiddelde is berekend uit alle bekende jaarlijkse totalen.

Een enkele keer is sprake van vruchtwisseling (met mais, of aardappels te Veendam) en is de N-toediening niet bekend. Daarom wordt met deze jaren geen rekening gehouden. Alle waarnemingen zijn gedaan op percelen met gras.

Het meest gedetailleerde niveau, waarop de N-toediening bekend is, is het perceelsniveau. Voor het toetsen van de twee uitspoelingsrelaties is de gemiddelde N-toediening per bedrijf minder interessant dan de N-toediening per perceel. In het volgende wordt aangenomen dat de gemiddelde N-toediening per perceel, zoals herleid uit de beschikbare jaarverslagen, gelijk is aan een langjaarlijks gemiddelde. De gegevens over de N-toediening per perceel kunnen gerelateerd worden aan waarnemingen van het grondwater onder het perceel. Figuur 6 geeft aldus per waarneming (onderzocht grondwatermonster) de bijbehorende gemiddelde N-toediening door beweiding (weN), kunstmest (kunstN) en totaal (totN), dit is beweiding plus kunstmest plus drijfmest (oppervlakkig toegediend of ondergeploegd). Meer details over de perceelsgegevens zijn te vinden in v.d.Valk (in voorbereiding). Meer details over de grondwaterbemonstering volgen in

paragraaf 2.4.1

figuur 6; Histogrammen van het aantal grondwatermonsters per stikstoftoedieningsklasse ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) in de vorm van kunstmest, beweiding, en kunstmest+beweiding+drijfmest=totale N-toediening



2.3. Grondwaterstand en bodemtype

Bij ondiepe grondwaterstanden zal een deel van het uitspoelende nitraat worden gedenitrificeerd (Steenvoorden, 1983) en uit het grondwater verdwijnen. Tabel 7 geeft een overzicht van verschillen in verloop van de grondwaterstand (grondwatertrappen).

tabel 7 ; Grondwatertrappen (GT)

Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm-mv.)						
		<25	25-40	40-80	80-140	140-200
<50	I					
50-80	II					
80-120	III		III*	IV		
120-160	V		V*	VI		
160-220					VII	
220-280						VII*
Gemiddeld laagste grondwaterstand						

Ook kan verwacht worden dat de denitrificatie, welke voorkomt onder anaerobe omstandigheden, afhankelijk is van het bodemtype (dat weer samenhangt met de grondwatertrap) of van de korrelgrootte verdeling en het gehalte aan organische stof. Dit wordt ook door figuur 4 weergegeven, die aangeeft dat van kleigrond minder nitraat uitspoelt.

De grondwatertrappen evenals het bodemtype zijn in opdracht van het RIVM door STIBOKA per bedrijf met een systematische kartering bepaald. Hierbij zijn ongeveer 4 boringen per hectare gespreid geplaatst. Uit deze boorgaten heeft het RIVM later een grondwatermonster genomen. In de bijlage wordt per bedrijf, waarneming en bodemtype het gemiddelde nitraat-N gehalte gegeven.

2.4. Grondwaterkwaliteit

2.4.1. Bemonstering

Het grondwater op de 10 bedrijven is bemonsterd met behulp van drie soorten boringen.

a-ondiepe boringen tot circa 1 meter onder de grondwaterspiegel

b-diepe boringen tot circa 6 meter onder het maaiveld

c-diepe boringen tot circa 15 meter onder het maaiveld

ad a: In opdracht van het RIVM heeft STIBOKA een bedrijfskartering uitgevoerd. Hierbij zijn 4 boorgaten gespreid over een hectare gezet, waaruit het RIVM ook grondwater heeft onttrokken. De boorgaten zijn eerst met een handboor schoongemaakt en daarna is een stijgbuis met onderaan een filter, in het boorgat geplaatst. Het filter kwam in de bovenste meter van het verzadigde grondwater. Vanaf het maaiveld is een slang neergelaten tot onderin het filter. Met een onderwaterpomp is eerst 2 liter grondwater onttrokken, waarna een liter grondwater is bemonsterd. De ondiepe boringen zijn goed gespreid op het te onderzoeken grasland geplaatst in tegenstelling tot de diepe boringen waar bij het plaatsten rekening is gehouden met de geohydrologie. De bijlage geeft een overzicht van het aantal ondiepe boringen per bedrijf en bodemtype.

Op de 10 bedrijven zijn op basis van geofysisch onderzoek geschikte lokaties uitgezocht voor bemonstering van het grondwater tot 6 meter onder het freatisch vlak. Van deze lokaties wordt verwacht dat het grondwater afkomstig is van regenwater dat op het bedrijf is geïnfiltreerd. Begin 1986 zijn per bedrijf gemiddeld 9 gaten gemaakt tot 6 meter onder het maaiveld. In enkele gevallen, bij diepe grondwaterstand, zijn de gaten dieper gemaakt. De boringen zijn in eigen beheer uitgevoerd door te pulsen. In de gaten zijn voorzieningen (filters) geplaatst om water te onttrekken. De eerste drie filters zijn 20 cm lang, de volgende vier zijn 50 cm lang. Door middel van onderdruk wordt grondwater uit de filters

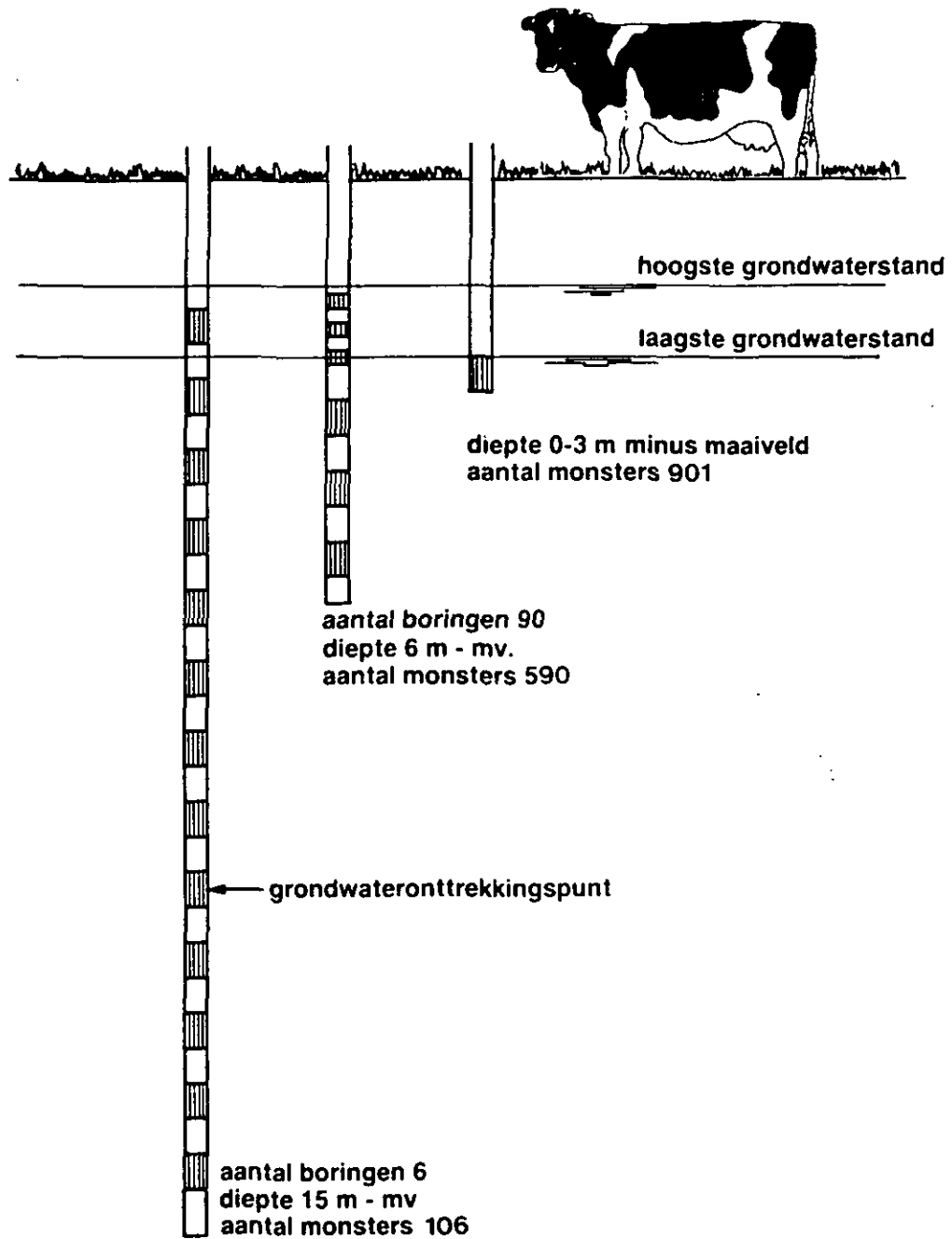
opgezogen. Soms kan uit de ondiepste filters geen water onttrokken worden omdat het grondwater te diep staat. De filters zijn direct na plaatsing schoongespoeld. De natuurlijke gelaagdheid van het grondwater wordt door het zetten van boringen verstoord. Naarmate een boring langer staat, wordt deze natuurlijke gelaagdheid hersteld. Daarom is in de tweede helft van 1986 een tweede maal gespoeld. Grondwater is gedurende 1987 bemonsterd op 7 diepten (1,1 1,6 2,1 2,75 3,75 4,75 en 5,75 meter onder het maaiveld) met de genoemde filters.

In 1986 is per bedrijf een 15 meter diepe boring uitgevoerd met om de halve meter naar de diepte, een filter van een halve meter lengte.

Van de gedraineerde boerderijen is incidenteel het drainwater bemonsterd door dit rechtstreeks op te vangen in een monsterhouder.

Figuur 8 geeft overzicht van de putten en bemonsteringdiepten ten opzichte van het maaiveld. De bemonsteringsdiepte in de ondiepe boringen is niet altijd genoteerd. Er zijn 901 watermonsters genomen uit ondiepe boorgaten, 590 met 6 meter putten en 106 met behulp van putten die 15m lang zijn.

figuur 8; Putten en bemonsteringsdieptes



Tabel 9 geeft een overzicht van het bemonsteringstijdstip per bedrijf.
tabel 9; Bemonsteringstijdstip van het grondwater per bedrijf.

Almen	13 maart	1987
Bavel	26 mei	1987
Dalen	31 maart	1987
Elp	3 juni	1987
Holten	24 februari	1987
Moergestel	17 april	1987
Neede	20 maart	1987
Sevenum	15 april	1987
Veendam	7 april	1987
Wanrooij	7 mei	1987

2.4.2. Analyses en verwerking

De genomen grondwatermonsters zijn grotendeels door het RIVM en voor een klein deel door het Waterlaboratorium Oost geanalyseerd. Naast nitraat zijn de gehalten aan kalium, chloride, ammonium en sulfaat gemeten en is het elektrisch geleidingsvermogen en de pH bepaald. In de ondiepe boringen is het gehalte aan anorganisch fosfaat en in de diepe boringen aan totaal fosfaat gemeten.

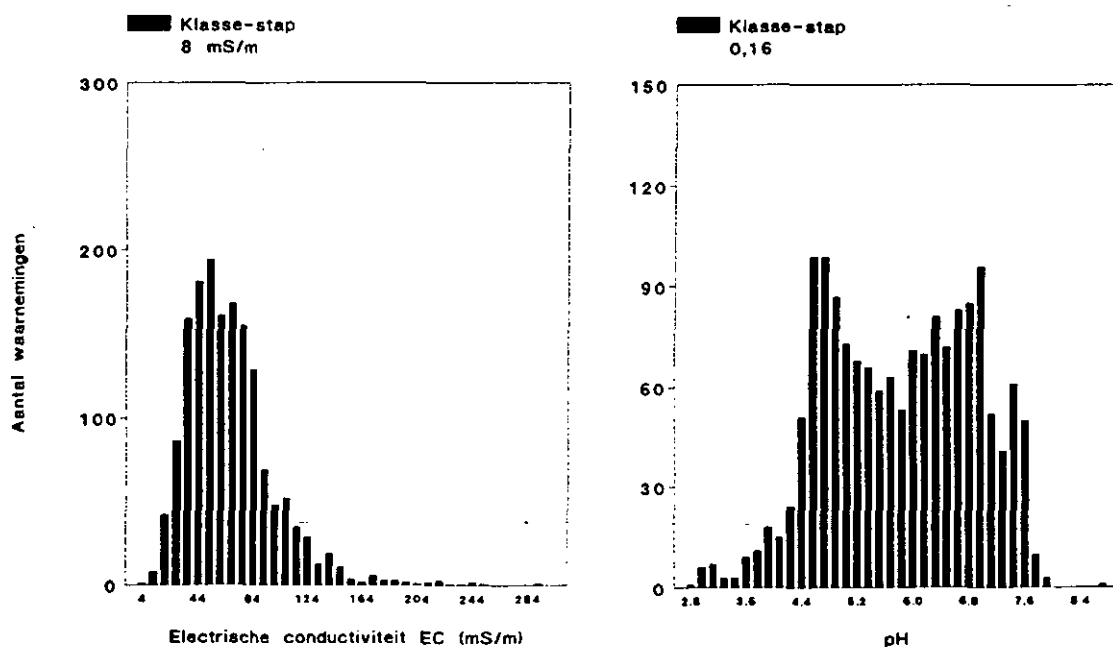
Met behulp van het statistische pakket GENSTAT(1983) is geprobeerd om relaties te vinden tussen het nitraatgehalte enerzijds en de overige grondwaterkwaliteitsparameters, de N-toediening, grondwatertrap, en bodemtype anderzijds. De methode wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk "Resultaten en interpretatie".

3. RESULTATEN EN INTERPRETATIE

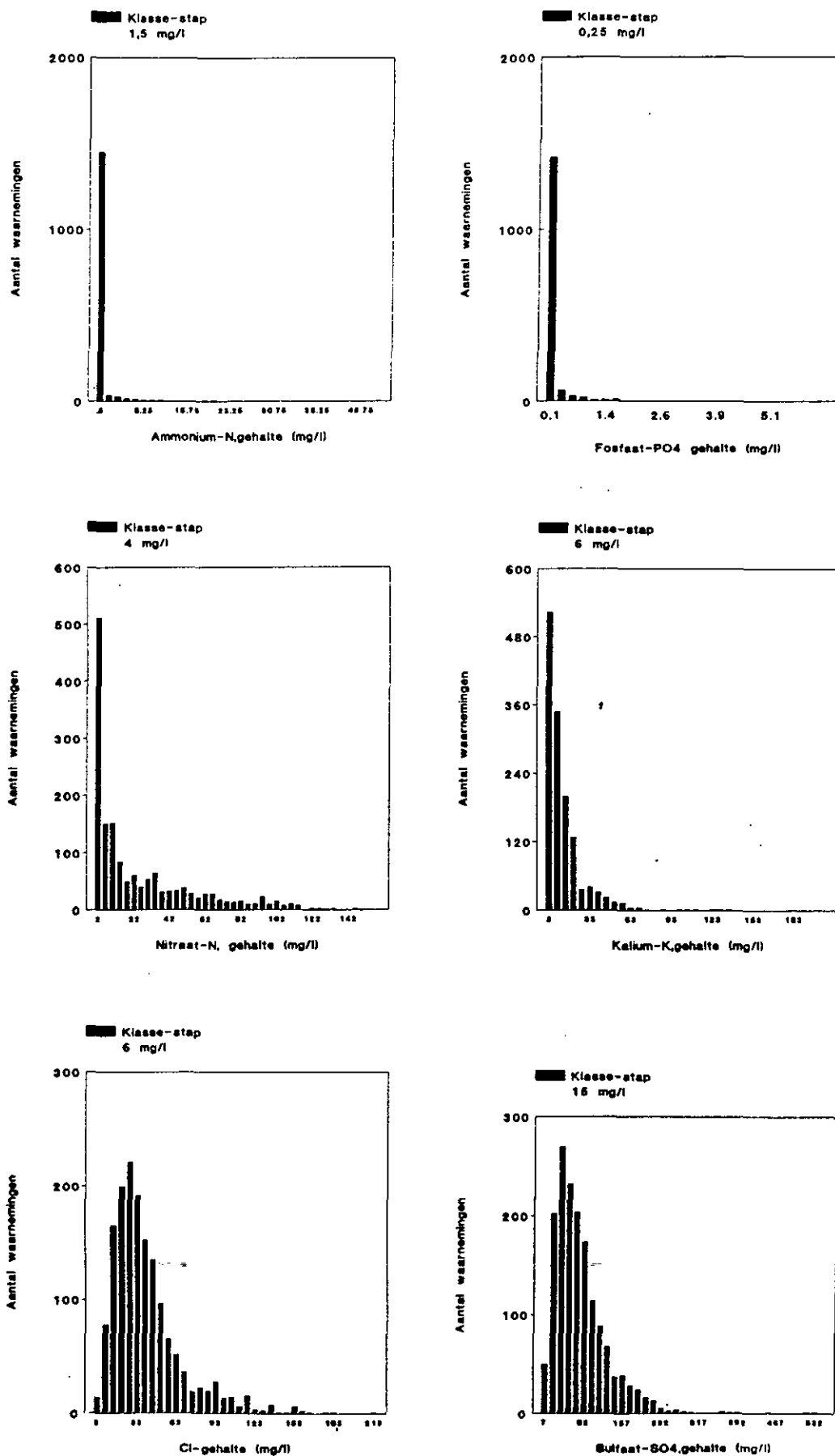
3.1. Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater

In figuur 10 staan histogrammen van de nitraatgehalten en de andere grondwaterkwaliteitsparameters, welke zijn gemeten in de grondwatermonsters van de diepe (6m,15m) en ondiepe boringen. Het valt op dat de histogrammen van de grondwaterkwaliteitsparameters een veel vloeiender verloop hebben dan de histogrammen van de N-toediening(fig. 6). Vanwege dit vloeiende verloop mag verwacht worden dat het aantal grondwatermonsters groot genoeg is om deze verdelingen te karakteriseren. De nitraat- en kaliumgehalten overschreiden de EG-drinkwater norm (11,3 en 12 mg/l), chloride, sulfaat en EC overschreiden de norm niet (250, 200 mg/l, 125 mS/m) maar wel het richtniveau.

figuur 10; Histogrammen van de gemeten waarden van grondwaterkwaliteitsparameters



figuur 10(vervolg); Histogrammen van grondwaterkwaliteitsparameters per waarneming



In tabel 11 staat een overzicht van gemiddelde waarden van de N-toedieningen en grondwaterkwaliteit, per waarneming. De waarnemingen uit de 15 meter diepe boringen zijn niet gekoppeld aan een stikstoftoediening.

tabel 11; Overzicht van bemonsteringsdiepten, grondwaterkwaliteit
en stikstoftoediening van de grondwatermonsters uit diepe (6m,15m)
en ondiepe boringen

parameter	minimum	gemiddelde	maximum	aantal	verdeling	dimensie
Bem.diepte	0.1	2.3	14.5	1315	scheef	m
EC	5.1	68	289	1597	scheef	mS/m
pH	2.8	5.8	8.81	1597		-
Cl	2.0	41	212	1589	scheef	mg/l
Nitraat-N	0.0	25	154	1597	scheef	mg/l
SO ₄	2.0	77	536	1596	scheef	mg/l
PO ₄	0.0	0.14	9.0	1597	scheef	mg/l
K	0.1	14	201	1386	scheef	mg/l
NH ₄ -N	0.0	0.91	8.2	1595	scheef	mg/l
totN	484	707	1019	1426		kg.ha ⁻¹ .a ⁻¹
kunstN	139	420	594	1426		kg.ha ⁻¹ .a ⁻¹
weiN	0.0	109	243	1426		kg.ha ⁻¹ .a ⁻¹

De gegevens van een watermonster, zoals vermeld in tabel 11, zijn niet altijd volledig.

De gemiddelde N-toediening is ongeveer 707 kg per jaar en per hectare, waarvan 420 kg als kunstmest, 109 kg door beweiding en 178 als drijfmest. Hiervan is ongeveer 465 kg beschikbaar voor plantopname. De gemiddelde uitspoeling aan nitraat-N, is 25 mg/l. Volgens de minimum, maximum en Lammers relatie is de uitspoeling respectievelijk 30, 66 en 9-11 mg/l. Er moet echter nog gecorrigeerd worden voor de grondwatertrap.

3.2. Invloed grondwatertrap

3.2.1. Absoluut

Door de Werkgroep Nitraatuitspoeling Waterwingebieden(1985) is de uitspoeling, volgens de relatie van Lammers, gecorrigeerd met reductiefactoren voor de grondwatertrap. Tabel 12 geeft het gemiddelde nitraat-N gehalte per grondwatertrap in de ondiepe en diepe (6m) boringen. Het gemiddelde nitraatgehalte is meestal hoger bij diepere grondwaterstanden. Van het grondwater uit de diepe boringen is minder goed bekend bij welke GT dit is geïnfiltreerd. Tevens kan ondergronds denitrificatie optreden. Daarom is de relatie met de GT, voor de diepere boringen, minder betrouwbaar. Het gemiddelde nitraatgehalte in de diepe boringen verschilt maar weinig met het gemiddelde nitraatgehalte in de ondiepe boringen.

tabel 12; Aantal waarnemingen en gemiddeld nitraat-N gehalte (mg/l) uit de ondiepe en diepe (6m) boringen per grondwatertrap

BORING : ONDIEP(bovenste grondwater)	ONDIEP(bovenste grondwater)		DIEP(6m)		ONDIEP+DIEP	
	aantal	gemiddelde	aantal	gemiddelde	aantal	gemiddelde
gt						
II	26	3	7	4	33	3
III	59	5	43	7	102	6
III*	71	17	48	10	119	14
IV	113	24	80	8	193	17
V	88	27	40	13	128	22
V*	94	26	34	20	128	24
VI	283	32	241	31	524	32
VII	56	46	49	50	105	48
VII*	43	61	40	25	83	43
Totaal	833	28	582	23	1415	26

3.2.2. Gecorrigeerd voor de N-toediening

De nitraatuitspoeling is afhankelijk van de grondwatertrap én de N-toediening. Tabel 13 geeft daarom berekende (geïnterpoleerde) gemiddelde nitraat-N gehalten per grondwatertrap, in de ondiepe en diepe (6m) boringen bij een gemiddelde N-toediening van 707 kg.a^{-1} . in de vorm van kunstmest, beweiding en drijfmest (zie tabel 11). De gemiddelde gehalten in tabel 13 zijn berekend met regressie-analyse (zie volgende paragraaf). Er is weinig verschil tussen het gemeten en berekende gemiddelde nitraatgehalte per GT in het ondiepe grondwater.

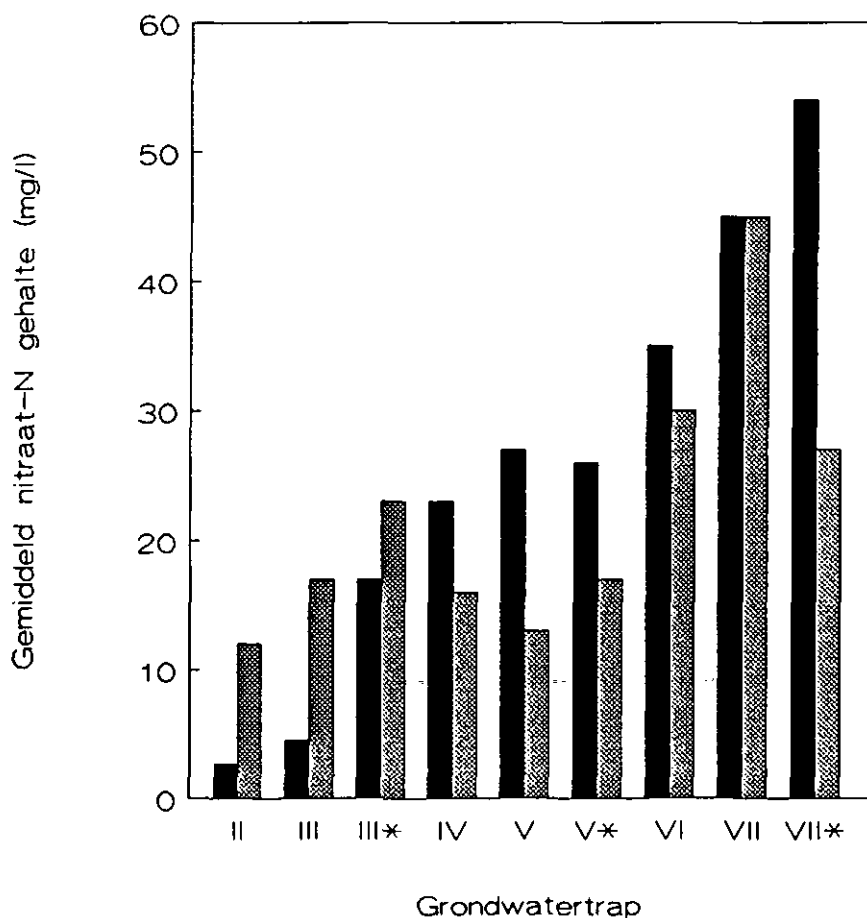
Als wordt aangenomen dat door drainage een kunstmatige GT VI onstaat dan komen de nitraatgehalten in het drainwater overeen met de gehalten in het grondwater bij GT VI. De gehalten in het drainwater van tabel 13 zijn niet gecorrigeerd voor de bemesting.

tabel 13; Invloed van de grondwatertrap op de nitraatgehalten uit de ondiepe en diepe (6m) boringen bij gemiddelde (beweiding, kunstmestgift en drijfmestgift) stikstoftoediening

NITRAAT-N GEHALTEN						
boringen						
		ondiep		diep		
GT		gemiddelde	standaard	gemiddelde	standaard	
		fout		fout		
II		2,7	5	12	10	
III		4,5	4	17	6	
III*		17	3	23	5	
IV		23	3	16	4	
V		27	3	13	5	
V*		26	3	17	5	
VI		35	2	30	2	38(gemiddeld in drainwater)
VII		45	4	45	4	(rapport in voorbereiding)
VII*		54	5	27	5	

■ ondiep

▨ diep (6m)



3.2.2.1. De ondiepe boringen

De maximum relatie voorspelt bij een toediening van $700 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ aan N, een uitspoeling van $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$. Als het neerslagoverschot gemiddeld 300mm per jaar is, dan wordt het gehalte in het grondwater ongeveer 66 mg/l aan nitraat-N. Bij gt VII* wordt voor een toediening van $700 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ 54 mg/l aan nitraat-N geïnterpoleerd uit de gevonden nitraatgehalten in het ondiepe grondwater. Dit is 83% van de maximum relatie.

Als alleen rekening wordt gehouden met de N-toediening die direct voor de plantevoeding beschikbaar is ($460 \text{ kg}/(\text{ha}.\text{a})$), dan zal volgens deze minimum relatie het grondwater ongeveer 30 mg/l aan nitraat-N bevatten. In de ondiepe boringen wordt gemiddeld 28 mg/l gevonden. Als geen rekening wordt gehouden met de grondwaterstand dan voldoet de minimum relatie (Kolenbrander-relatie) opvallend goed. Wordt wel rekening gehouden met de grondwaterstand dan voldoet de maximum relatie beter.

De relatie Lammers, waarbij geen rekening wordt gehouden met de grondwaterstand, voorspelt minder dan 12 mg/l. Deze relatie voldoet daarom het slechtst.

3.2.2.2. Diepe (6m) boringen

Het gemiddelde nitraat-N gehalte in de diepe (6m) boringen bedraagt 23 mg/l (zie tabel 12). Dit is 76% van de minimum relatie (die 30 mg/l voorspelt) maar meer dan tweemaal hoger dan de relatie Lammers. Het gemiddelde in de diepe (6m) boringen is wat lager dan in de ondiepe boringen (28 mg/l). De gehalten in de diepe boringen moeten ook gecorrigeerd worden voor de grondwatertrap van het infiltratiegebied, dat niet goed bekend is. Ook is aangetoond dat in de ondergrond denitrificatie optreedt. Vanwege het kleine verschil in gemiddeld gehalte tussen de diepe (6m) en ondiepe boringen en het voorgaande, is het waarschijnlijk dat de nitraatgehalten uit de diepe

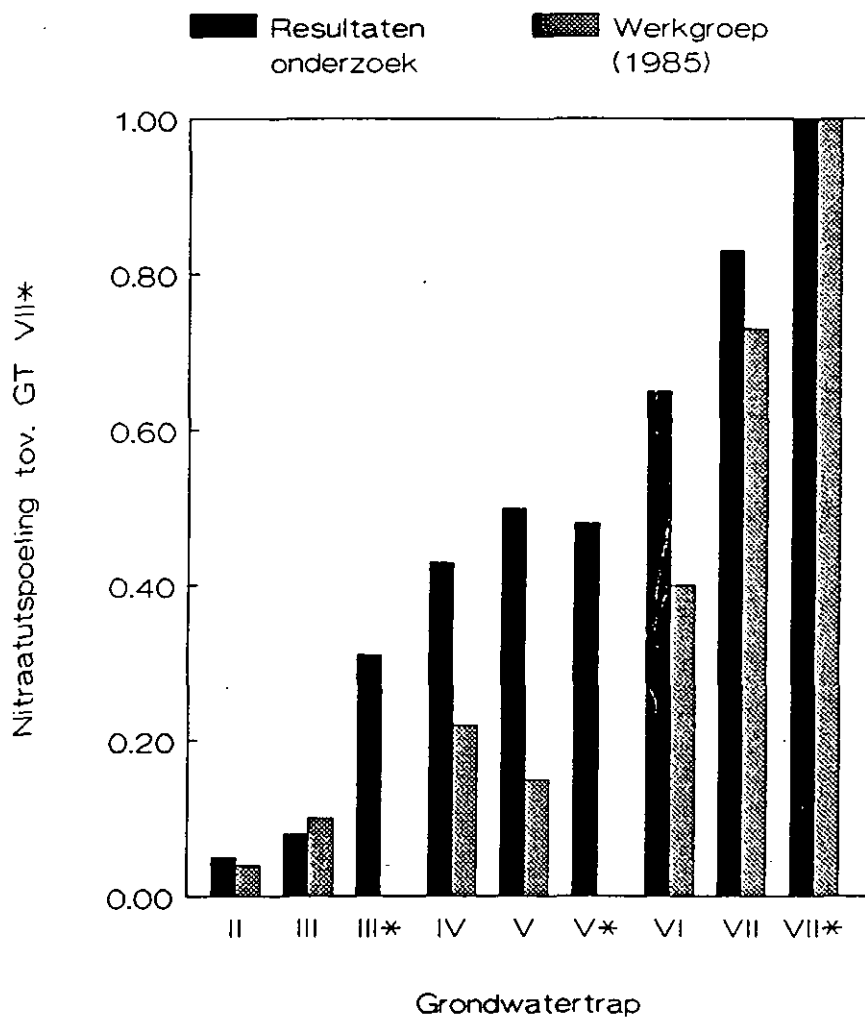
(6m) boringen het best kunnen worden verklaard met de maximum relatie en een correctie voor de grondwatertrap. Als geen rekening wordt gehouden met de grondwatertrap is de minimum relatie het beste.

3.2.3. Relatief ten opzichte van GT VII*

Als het gemiddelde nitraat-gehalte bij de diverse grondwatertrappen, in tabel 13, gedeeld worden door het nitraat-gehalte bij gt VII* dan worden correctie-factoren berekend. De aldus berekende correctiefactoren, voor het ondiepe grondwater, in tabel 14 komen min of meer overeen met die van de Werkgroep, 1985, die zijn afgeleid uit lysimeterexperimenten.

tabel 14; Relatieve gemiddelde nitraatgehalten in de ondiepe boringen, afhankelijk van de grondwatertrap, ten opzichte van het nitraatgehalte bij grondwatertrap VII* (correctiefactoren)

Grondwatertrap	dit onderzoek		volgens Werkgroep,1985
	gemiddeld standaard fout		
II	0,05	0,09	0,04
III	0,08	0,07	0,10
III*	0,31	0,06	
IV	0,43	0,06	0,22
V	0,50	0,06	0,15
V*	0,48	0,06	
VI	0,65	0,04	0,41
VII	0,83	0,07	0,73
VII*	1	0,09	



3.3. Relaties tussen nitraatgehalten enerzijds en de andere grondwaterkwaliteitsparameters, N-toediening, bodemtype en het bedrijf anderzijds

3.3.1. Regressie-analyse

Van elk grondwatermonster uit de ondiepe boringen zijn bekend; 8 grondwaterkwaliteitsparameters, de grondwatertrap, grondwaterstand en bodemtype. De laatste drie parameters zijn waargenomen bij het maken van de ondiepe boring. De grondwaterkwaliteitsparameters zijn gemeten in het grondwater, dat uit de ondiepe boring is onttrokken. Uit de jaarverslagen is per perceel de N-toediening afgeleid uit de kunstmestgift, de drijfmestgift en de beweiding. Omdat van elke ondiepe boring het perceel bekend is, kan elk grondwatermonster gerelateerd worden aan een N-toediening door kunstmest, drijfmest en beweiding.

Met multiple parallelle regressie-analyse (GENSTAT,1983) is onderzocht hoe de nitraatgehalten van de afzonderlijke grondwatermonsters kunnen worden verklaard met bovengenoemde variabelen.

Regressie-analyse is het meest gebruikte middel om een te verklaren parameter (nitraat-N in grondwater) te relateren aan een of meerdere verklarende parameters (N-toediening, bodemtype, GT, ..).

Het is nodig om alle variabelen, die invloed hebben op de nitraatuitspoeling, bij de berekening te betrekken. Bijvoorbeeld; stel dat gemiddeld meer dierlijke mest (dierN) wordt toegediend als de kunstmestgift minder is. Dan kan kan gevonden worden dat er meer nitraat uitspoelt als de kunstmestgif minder is. Dit is niet in overeenstemming is met de verwachting. Door rekening te houden met de toediening aan dierlijke mest kan met regressie-analyse wél aangetoond worden dat de uitspoeling toeneemt met een grotere kunstmestgift.

$$\text{nitraat-uitspoeling} = a + b \cdot \text{kunstN} + c \cdot \text{dierN}$$

Uit voorgaande blijkt dat als een belangrijke variabele niet wordt meegenomen de richting (positief of negatief) en mate van invloed van een andere verklarende variabele niet overeenkomstig de werkelijkheid kan zijn. Een belangrijke ontbrekende variabele is het weer, waarvan maar wordt aangenomen dat dit overal hetzelfde is geweest.

Bovenstaande relatie kan uitgebreid worden door ook rekening te houden met het bedrijf waar de waarnemingen zijn verricht;

$$\text{nitraat-uitspoeling} = a(\text{bedrijf}) + b \cdot \text{kunstN} + c \cdot \text{dierN}$$

Er wordt nu een model gemaakt waarin de nitraat-uitspoeling evenredig is met de toediening van kunstN en dierN terwijl de absolute waarde van de uitspoeling ook wordt beïnvloed door het bedrijf (dit zijn onbekende invloeden op de nitraat-uitspoeling, die samenhangen met het bedrijf; bijvoorbeeld de homogeniteit van kunstmest-toediening op het perceel). Bovenstaande relatie is grafisch voor te stellen als een stel parallelle lijnen. De techniek om bovenstaand model te maken, wordt parallelle regressie-analyse genoemd.

De mate waarin een regressie model alle waarnemingen van het nitraat-gehalte beschrijft (verklaard) kan worden berekend door de kwadraatsom van de verschillen tussen elke waarneming en modelvoorspelling te delen door de kwadraatsom van de verschillen tussen elke waarneming en het gemiddelde van alle waarnemingen. Dit quotiënt wordt daarna van 1 afgetrokken. Met andere woorden er wordt berekend hoeveel beter de afzonderlijke nitraatgehalten door het regressie-model worden geschat dan door het totaal gemiddelde van de nitraatgehalten.

De betrouwbaarheid van het regressie-model is afhankelijk van het aantal waarnemingen en het aantal variabelen. Bijvoorbeeld als maar twee getalparen van twee variabelen bekend zijn, dan verklaart een regressie-model 100%, terwijl de betrouwbaarheid van de verklarende variabele 0 % is. Andersom kan het zijn dat veel getalparen bekend zijn en het regressie-model weinig verklaart, terwijl de betrouwbaarheid van een verklarende

variabele toch groot is. Zo'n model is ongeschikt voor het voorspellen van de afzonderlijke waarnemingen maar wel geschikt voor het voorspellen van het gemiddelde van een groot aantal waarnemingen. Dit laatste is het geval bij dit onderzoek. Alleen de betrouwbaarheid van de invloed van bijvoorbeeld bemesting en grondwatertrap op de gemiddelde nitraatconcentratie van een groot aantal waarnemingen kan worden gegeven. Dit is niet erg want drinkwaterpompstations zullen alleen deze gemiddelde concentratie winnen.

De betrouwbaarheid van de berekende invloed van de verklarende variabelen op het nitraatgehalte hangt samen met de mate van invloed (=regressiecoëfficiënt= b en c uit de voorgaande vergelijkingen) en de standaardfout van de regressie-coëfficiënt en is gelijk aan het quotiënt van beiden (t -waarde). Volgens regressie-model, dat het laatst genoemd is, kan van het "bedrijf" alleen aangegeven worden in hoeverre zijn invloed betrouwbaar is terwijl van de N -toediening door kunst N en dier N de betrouwbaarheid en richting (positief of negatief) van hun invloed, op de nitraatconcentratie, kan worden aangegeven.

Om een juiste uitspraak over de betrouwbaarheid te doen moet de relatie tussen de te verklaren en de verklarende variabelen lineair zijn en mag er geen samenhang zijn tussen de afwijkingen en tussen de grootte van de afwijkingen en de grootte van de variabelen. Deze vooronderstellingen zijn niet getoetst. Er wordt alleen gekeken naar de verschillen in t -waarde van de verklarende variabelen en de verklarende waarde van het regressie-model.

Bij het maken van het regressie-model wordt achtereenvolgens de verklarende variabele, die het minst betrouwbaar is en waarvan de t -waarde kleiner is dan 2, verwijderd. Nadat een variabele is verwijderd, wordt gecontroleerd of de variabelen, die al verwijderd waren, nu wel een grotere t -waarde hebben en of de verklarende werking van het model vergroten. Verklarende variabelen die op grond van bovenstaande permanent zijn verwijderd, worden in tabel 15 aangeduid met "o". Tabel 15 geeft een overzicht van 7 regressie-modellen die volgens deze techniek zijn gemaakt. De regressie-modellen verschillen onderling door verschillende groepen van verklarende variabelen. In tabel 15 zijn de betrouwbaarheden van de verklarende variabelen geklassificeerd en waar mogelijk wordt de richting van de

invloed aangegeven.

Met regressie-analyse kunnen niet zondermeer oorzaak-gevolg relaties worden berekend. Door een combinatie van (itteratieve) regressie-analyse en proceskennis kunnen wel waarschijnlijkheden worden gesignaleerd.

3.3.2. Ondiepe boringen (bovenste grondwater)

Hieronder volgen de resultaten van de regressie-analyse.

tabel 15; Verklaring (7 regressiemodellen) voor de afzonderlijke
nitraatgehalten in de ondiepe boringen

MODEL:	1	2	3	4	5	6	7
bedrijf(t-gem)	o	*				**	
bodemtype (t-gem)	o						o
gt (t-gemiddeld)	+	+++	++++	++++	++++	++++	++++
GT	o	o	++	+++			
totN	++	++	+++	++++	+++	+	o
weiN	o	-	----	----	--	-	o
kunstN	o	o	--	--	o	o	o
EC	++++	++++	++++				
pH	--	---	---	-			
Cl	o	o	o	++			
K	o	o	o	o			
NH4-N	---	---	----	---			
SO4	---	---	----	--			
Verklaard %	65	62	56	42	32	50	46

Betrouwbaarheidsklassen en invloedsrichting

++++ betekent $t > 7$ en een positieve invloedsrichting (zeer betrouwbaar)
 +++ ,, $5 < t < 7$,, ,, (erg betrouwbaar)
 ++ ,, $3 < t < 5$,, ,, (goed betrouwbaar)
 + ,, $2 < t < 3$,, ,, (betrouwbaar)
 ---- betekent $t > 7$ en een negatieve invloedsrichting, etc.
 **** betekent $t > 7$ en invloedsrichting is niet ter zake etc.
 o betekent $t < 2$ (niet betrouwbaar)
 blanco betekent niet meegenomen in het regressie-model

Van het nitraatgehalte is de logaritme genomen omdat dan meer verklaard wordt. De oorzaak hiervan is dat uitschieters minder meetellen. Als alle verklarende variabelen in de analyse worden betrokken (kolom 1) dan kan de nitraatconcentratie per waarneming het best worden verklaard door de EC, maar ook de totale N-toediening, de grondwatertrap, de pH en de gehalten aan ammonium en sulfaat. Totaal wordt 65% verklaard. De negatieve invloed van ammonium en de pH kan wijzen op reducerende omstandigheden en daardoor op denitrificatie. Het voorkomen van meer nitraat met diepere grondwaterstanden is in overeenstemming met de bevindingen van Steenvoorden(1983). Het voorkomen van minder nitraat bij meer sulfaat kan wijzen op oxydatie van sulfiden door nitraat (Kolle,1983; Koppers,1984). Het lijkt vreemd als dit proces ook al in het ondiepe grondwater optreedt.

Als het "bodemtype" niet wordt meegenomen als verklarende variabele (zie tweede kolom van tabel 15) dan wordt het "bedrijf" wel betrouwbaar en vermindert de verklarende werking van het model met maar 3%. Dit wijst op een samenhang tussen bodemtype en bedrijf (zie ook bijlage).

Doordat het bedrijf niet in beschouwing wordt genomen vermindert de verklaring met nog eens 6%.

Uit tabel 15 blijkt verder dat de grondwatertrap in de meeste modellen zeer betrouwbaar is voor het verklaren van de nitraatgehalten en dat de nitraatgehalten hoger zijn bij hogere totale N-gift. Dit is volgens de verwachting.

Door beweiding spoelt volgens de meeste modellen minder N uit. De coëfficiënten van de regressie vergelijking, in de vijfde kolom van tabel 15, voor totN, wein en kunstN zijn respectievelijk: $+47.10^{-4}$, -65.10^{-4} en -16.10^{-4} . Hieruit volgt zelfs dat door beweiding, bij gelijke hoeveelheden kunstmest en drijfmest, minder nitraat uitspoelt. Dit wordt niet verwacht en is integenspraak met gegevens uit de literatuur.

In de vorige paragraaf is verondersteld dat door beweiding de N niet egaal wordt toegediend waardoor de plant minder kan opnemen en meer uitspoelt. Het kan zijn dat er andere effecten zijn, die de uitspoeling verminderen.

Bijvoorbeeld, door beweiding wordt de zode verdicht, waardoor de beluchting minder wordt en sneller denitrificatie optreedt. Ook kan door beweiding meer N vervluchtigen of wordt meer N vastgelegd als organisch N doordat de eigenschappen van zode door de vaste uitwerpselen zijn veranderd. Deze vaste uitwerpselen kunnen tevens ook de oorzaak zijn dat denitrificatie in de zode van beweidde percelen groter is als in onbeweidde percelen.

Door kunstmest-N toediening lijkt eveneens minder uit te spoelen dan door de totale N toediening. Zoals gezegd kan kunstN beter door het gras worden opgenomen dan drijfmest waardoor dit wel verwacht wordt.

Het bodemtype is geen geschikte factor voor de regressie-modellen omdat de bodemtypen bedrijf gebonden zijn. Door de veelheid aan onderscheiden bodemtype's (ongeveer 40) is de verklarende werking niet meer betrouwbaar. Hierbij komt nog dat door "bedrijf" meer verklaard kan worden dan door "bodemtype" (kolom 6, tabel 15). (Anders gezegd; Door de waarnemingen te groeperen per bedrijf is de spreiding in de nitraatgehalten kleiner dan door te groeperen per bodemtype.) Tevens is de verklaring door het bodemtype niet volgens de verwachting. Bijvoorbeeld, het grootste deel van het bedrijf in Sevenum heeft bodemtype Hn51 (veldpodzol met leemarm matig fijn zand, zie bijlage) en grondwatertrap VI en VII. In de ondiepe boringen worden hier en ook in Moergestel (tabel 16) veel lagere nitraat-N gehalten (5-8mg/l) gevonden dan in de ondiepe boringen bij de overige bedrijven (30-60mg/l) met meer organische stof en leem. Ook zal de invloed van de N-toediening en GT op de nitraatuitspoeling groter zijn dan de invloed van het bodemtype. Het bodemtype is daarom, voor dit waarnemingsmateriaal, niet geschikt als verklarende factor.

Kolom 5 van tabel 15 bevat een bruikbaar model, dat alleen rekening houdt met grondwatertrap en N-toediening en dat 32% verklaart van de nitraatgehalten in de afzonderlijke ondiepe boringen. Tabel 13 geeft de gemiddelde gehalten nitraat-N per grondwatertrap, dat is berekend volgens het regressie model in de 5e kolom van tabel 15 voor gemiddelde omstandigheden van beweiding en N-toediening (zie figuur 11), samen met de standaard fout van het gemiddelde.

3.3.3. Diepe boringen

Diepe boringen zijn minder geschikt om relaties tussen grondwaterstand en nitraatgehalten te onderzoeken. Er kan sprake zijn van kwel of een sterke horizontale stromingscomponent, daardoor is het diepere grondwater mogelijk niet afkomstig van het bedrijf. Bij de plaatsing van de diepe boringen is hiermee, door geohydrologisch onderzoek, zoveel mogelijk rekening gehouden. Ook zijn in de ondergrond processen aangetoond (rapport in voorbereiding) waarbij nitraat uit grondwater wordt verwijderd (denitrificatie). Tenslotte moet vermeld worden dat de waarnemingen uit de 90 diepe (6m) boringen minder goed ruimtelijk verdeeld zijn dan de waarnemingen uit de 900 ondiepe boringen. Vaak bevinden zich 2 à 3 diepe boringen op een perceel en staan op het merendeel van de percelen geen (6m) boringen. Eventuele relaties tussen nitraatgehalten en de verklarende variabelen zijn daardoor minder algemeen geldig. Het voordeel van de diepe boringen is echter dat hieruit grondwater bemonsterd kan worden dat representatief is voor een langjaarlijks-gemiddelde uitspoeling. Ze hebben niet het nadeel dat de grondwaterkwaliteit kan worden overheerst door het weer zoals in de ondiepe boringen. Ook wordt verwacht dat op grotere diepte de ruimtelijke variaties in de grondwaterkwaliteit minder zijn. Tabel 16 geeft een overzicht van de nitraatgehalten per lokatie en grondwatertrap in de

ondiepe en diepe (6m) boringen.

tabel 16; Gemiddeld nitraat-N gehalte (mg/l) per GT en bedrijf
uit ondiepe en diepe (6m) boringen

ONDIEPE BORINGEN

bedrijf Almen Bavel Dalen Elp Holten Moergestel Neede Sevenum Veendam Wanroy

gt										
II	-	-	-	6	-	1	-	-	-	-
III	-	11	-	9	-	3	14	-	-	-
V	-	-	35	30	-	3	19	-	7	-
III*	36	52	-	26	2	5	36	-	-	9
V*	-	48	36	30	-	5	36	6	13	-
IV	50	24	-	-	12	-	26	-	-	18
VI	45	25	51	46	36	5	47	7	20	51
VII	62	-	56	69	-	-	84	8	20	-
VII*	59	-	-	-	-	-	63	-	-	-

DIEPE BORINGEN

bedrijf Almen Bavel Dalen Elp Holten Moergestel Neede Sevenum Veendam Wanroy

gt										
II	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-
III	-	-	-	1	-	14	-	-	-	-
V	-	-	16	13	-	-	8	-	1	-
III*	-	-	-	-	1	30	-	-	-	7
V*	-	-	-	16	-	-	27	-	17	-
IV	11	-	-	-	1	-	-	-	-	11
VI	5	33	21	32	16	78	79	66	13	19
VII	-	-	-	39	-	-	77	72	12	-
VII*	5	-	-	-	-	-	63	-	-	-

Van tabel 16 valt op dat zowel in Sevenum als Moergestel in de ondiepe boringen lagere nitraatgehalten zijn bemonsterd, terwijl in de diepe boringen 'normale' nitraatgehalten worden gevonden. Mogelijk ligt dit aan het weer en of een geringer vochthoudend vermogen, waardoor hier de grondwateraanvulling in de natte zomer van 1984 vroeger heeft

plaatsgevonden.

In tabel 17 staan 7 regressiemodellen voor het nitraatgehalte in de diepe boringen.

tabel 17; Verklaring (7 regressiemodellen) voor de afzonderlijke nitraatconcentraties uit de diepe (6m) boringen

MODEL:	1	2	3	4	5	6	7
bedrijf(gem .t)	+++	+					
grondwatertrap ,,	o	o			o	o	o
bemonsteringsdiepte	o	--	--		--		
totN (kg/(ha.a))	+	++	++++		o	o	--
weiN (kg/(ha.a))	o	--	---		+++	++	++
kunstN (kg/(ha.a))	o	o	o		++++	+++	++++
EC (mS/m)	++++	++++	++++	++++			
pH -	----	--	----	----			
Cl (mg/l)	---	o	o	---			
SO4 (mg/l)	----	---	----	----			
PO4 (mg/l)	+	o	+	++			
K (mg/l)	o	+	++	o			
NH4 (mg/l)	--	---	----	---			
% verklaard	73	88	71	82	36	30	25

Betrouwbaarheidsklassen en invloedsrichting

++++ betekent $t > 7$ en een positieve invloedsrichting (zeer betrouwbaar)
 +++ ,, $5 < t < 7$,, (erg betrouwbaar)
 ++ ,, $3 < t < 5$,, (goed betrouwbaar)
 + ,, $2 < t < 3$,, (betrouwbaar)
 ---- betekent $t > 7$ en een negatieve invloedsrichting, etc.
 **** betekent $t > 7$ en invloedsrichting is niet ter zake etc.
 o betekent $t < 2$ (niet betrouwbaar)
 , betekent niet meegenomen in het regressie-model

Net als bij de ondiepe boringen is er een negatieve invloed van sulfaat, pH

en ammonium en een positief effect van de EC. In tegenstelling tot de ondiepe boringen is de invloed van de vorm van N-toediening niet in alle regressie-modellen dezelfde en heeft de grondwatertrap geen invloed.

De bemonsteringsdiepte lijkt een negatieve invloed op de nitraatgehalten te hebben.

Het voorkomen van ondergrondse denitrificatie hangt samen met de waarde van grondwaterkwaliteitsparameters (SO_4 , pH en NH_4^+). Door de grondwaterkwaliteitsparameters als verklarende variabelen te beschouwen kan rekening gehouden worden met ondergrondse denitrificatie. In dat geval spoelt door beweiding minder N uit dan door kunstN en totN. Dit is conform de ondiepe boringen. Ondergrondse denitrificatie is experimenteel vastgesteld op de proefboerderijen (rapport in voorbereiding).

4. Conclusies

- De nitraatgehalten in het grondwater onder grasland van 10 praktijkbedrijven in de zandgebieden zijn hoger dan verwacht kan worden op basis van de relatie van Lammers, tussen stikstoftoediening en uitspoeling, en zijn ook afhankelijk van de grondwatertrap.
- De gemiddelde stikstofuitspoeling is overeenkomstig de relatie van Kolenbrander voor de toediening van kunstmest stikstof en het minerale deel van de stikstof uit dierlijke mest, als niet wordt gecorrigeerd voor de grondwatertrap. Als wel wordt gecorrigeerd voor de grondwatertrap dan voorspelt bovengenoemde relatie een te lage nitraatuitspoeling. Blijkbaar moet ook rekening worden gehouden met organische stikstof.
- Volgens de opvatting die algemeen geldt, zal door beweiding extra stikstof aan het land worden toegediend, die nauwelijks bemestende waarde heeft en die extra uitspoelt in de vorm van nitraat. De verwachting dat door beweiding meer nitraat uitspoelt, op perceelsniveau, wordt echter door de resultaten van dit onderzoek tegengesproken. Aanbevolen wordt om onder meer gecontroleerde omstandigheden, het verschil in nitraatuitspoeling, tussen permanent beweid en permanent gemaaid grasland, te onderzoeken.
- De kaliumgehaltes in het bovenste grondwater van de bedrijven overschrijden de EG-drinkwaternorm. De gehalten aan sulfaat, chloride en de elektrische geleidendheid zitten onder de norm maar overschrijden het EG-richtniveau.
- Als de totale stikstofgift op grasland ongeveer $700 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ bedraagt en de verdeling van het grondwaterstandsverloop over de zandgebieden is volgens Haans en van Soesbergen (1977) dan zal, volgens de resultaten van het onderzoek, op ongeveer 90 % van het zandgrasland de EG-drinkwaternorm in het bovenste grondwater worden overschreden. Het Besluit gebruik dierlijke meststoffen, zal de totale stikstoftoediening op grasland, ook bij de eindnorm in 2000, weinig of niet verminderen en dus ook niet de uitspoeling.

Literatuur

Bohemen van, P.J.M., 1988 Mogelijkheden om de milieubelasting door de melkveehouderij te verminderen, toegespitst op fosfaat en stikstof. De Buffer, 1988

Consulentschap, 1985 Dierlijke mest CAD bodem, water en bemestingszaken in de veehouderij. Vlugschrift voor de landbouw, no. 406

GENSTAT 4.04, 1983 Rothamsted experimental station The numerical algorithms group limited, Oxford

Haans, J.C.F.M en G.A. van Soesbergen, 1977 Bodemkundig-hydrologische inventarisatie Stiboka-rapport no. 1266

Kolenbrander, G.J., 1981 Leaching of nitrogen in agriculture In: J.C. Brogan (ed.), Nitrogen losses and surface runoff. Nijhoff/Junk, The Hague, pp 199-216

Kolle, W., P. Werner, O. Strebel und J. Bottger, 1983. Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter. Vom Wasser 61, pp 125-147

Koppers, R.G.M., 1984 Onderzoek naar de verplaatsing van stikstof in de ondergrond van een veehouderijbedrijf ten oosten van Deurne (N.Br.). Nota 1519, ICW, Wageningen, 45pp.

Lammers, H.W., 1984 De relatie tussen de rundveebezetting per ha grasland, de mestproduktie en de gevolgen van het gebruik van deze mest. Consulentschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen

Steenvoorden, J.H.A.M., 1983 Nitraatbelasting van het grondwater in zandgebieden; denitrificatie in de ondergrond. Nota 1435 ICW, Wageningen

Steenvoorden, J.H.A.M. and H.P. Oosterom, 1986 Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface runoff. in: H.G. van der Meer, J.C. Ryden and G.C. Ennik (eds) Nitrogen Fluxes in intensive

grasslands systems Martinus Nijhoff

Van der Valk, J.P.M, in voorbereiding Perceelgegevens N-proefbedrijven
RIVM-rapport no. 728472011

Werkgroep nitraatuitspoeling waterwingebieden,1985 Nitraatproblematiek bij
grondwaterwinning in Nederland ICW-rapport 12

Van der Meer, H.G., R.B. Thompson, P.J.M. Snijders and J.H. Geurink,1987
Utilization of nitrogen from injected and surface-spread cattle slurry
applied to grasland (in:eds. Van der Meer et al.,1987)

Jarvis, S.C., M Sherwood and J.H.A.M. Steenvoorden,1987 Nitrogen losses
from animal manures: from grzaed pastures and from applied slurry (in: eds.
Van der Meer et al.,1987)

Eds;H.G. Van der Meer, R.J. Unwin, T.A. van Dijk and G.C. Ennik,1987 Animal
manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste?. Developments
in plant and soil sciences Martinus Nijhoff Publishers

BIJLAGE

AANTAL WAARNEMINGEN MET DIEPE EN ONDIEPE BORINGEN
PER LOKATIE EN BODEMTYPTYPE

bedrijf Almen Bavel Dalen Elp Holten Moergestel Neede Sevenum Veendam Wanroy

bodemtype

bEZ35	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
zEZ35	0	19	0	0	0	0	50	0	0	0
zEZ53	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tZg35	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
tZg53	0	0	0	0	42	3	0	0	0	0
tZg55	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cZg35	0	9	0	0	0	0	2	0	0	0
cZg53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
cZg55	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tZn33	0	0	0	0	0	23	6	0	0	0
tZn35	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
tZn51	0	0	0	0	0	38	0	25	0	0
tZn53	6	0	0	9	61	7	0	0	0	0
tZn55	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cZn33	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
cZn35	0	28	0	0	0	0	16	0	0	0
cZn51	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
cZn55	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cHn35	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
cHn51	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0
Zn33	9	0	0	0	0	5	1	0	0	0
Zn35	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn53	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zg33	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Zg35	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0
Zg51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66
Zg53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57
Hn33	0	0	90	3	0	16	11	0	100	0
Hn35	0	0	12	0	0	0	0	0	1	0

Hn53	0	0	0	114	0	0	0	0	0	1
Hn51	0	0	0	0	0	7	0	102	0	0
Rn12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Rn25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rn32	12	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Rn35	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
Rn52	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
vWp	0	0	29	3	0	0	0	0	13	0
zWp	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
zWz	0	0	0	15	61	16	0	0	0	0
vWz	0	0	0	25	0	2	0	0	0	0
iWp	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0
aVz	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0