

NN31545.1043

143

maart 1978

2

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

INVLOED BEMESTING OP DE CHEMISCHE SAMENSTELLING
VAN HET GRONDWATER

ir. J.H.A.M. Steenvoorden

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onder-
zoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking



JSH 100062.02

Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek

CURSUS GRONDWATERKWALITEIT

3-7 APRIL 1978

I N H O U D

| | Blz. |
|---|------|
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. FOSFAAT | 3 |
| 2.1. Bemesting en onttrekking door gewassen | 3 |
| 2.2. Gedrag in de bodem | 5 |
| 2.3. Basisbelasting van grondwater | 6 |
| 2.4. Invloed bemesting | 7 |
| 3. STIKSTOF | 10 |
| 3.1. Bemesting en onttrekking door gewassen | 10 |
| 3.2. Gedrag van stikstof in de bodem | 12 |
| 3.3. Basisbelasting van het grondwater | 15 |
| 3.4. Invloed van bemesting | 16 |
| 4. OVERIGE VERBINDINGEN | 19 |
| 4.1. Algemeen | 19 |
| 4.2. Basisbelasting van het grondwater | 20 |
| 4.3. Invloed van bemesting | 21 |
| 5. SAMENVATTING | 23 |
| 6. LITERATUUR | 25 |

1. INLEIDING

Grondwaterverontreiniging kan worden veroorzaakt door diffuse bronnen zoals bemesting, neerslag en wegeozout en door puntbronnen zoals afvalwater van huishoudens en industrie, vuilstortplaatsen, enz. Ongeveer 70% (ca. 2 miljoen ha) van het grondoppervlak in Nederland is in gebruik voor de landbouw. Door het intensieve gebruik van dierlijke mest en kunstmeststoffen (tabel 1) is in het landelijk gebied de landbouw een belangrijke potentiële vervuiler van grond- en oppervlaktewater.

Tabel 1. Ontwikkeling van het verbruik van kunstmeststoffen en de produktie van dierlijke meststoffen in Nederland voor stikstof, fosfaat en kalium per ha cultuurgrond (CBS, 1977)

| | 1965 | | 1970 | | 1975 | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | kunst- mest | dierl. mest | kunst- mest | dierl. mest | kunst- mest | dierl. mest |
| Stikstof (kg N) | 131 | 78 | 180 | 96 | 209 | 118 |
| Fosfaat (kg P) | 22 | 20 | 22 | 25 | 20 | 31 |
| Kalium (kg K) | 52 | 64 | 48 | 77 | 45 | 94 |

De mate waarin dit in de praktijk ook werkelijk gebeurt is sterk afhankelijk van de aard van de verbinding die men beschouwt, van de chemisch en fysische eigenschappen van de bodem en van de hydrologische situatie van het perceel en van het gebied. Belangen kunnen

eventueel worden geschaad die gebaat zijn bij een goede waterkwaliteit zoals: natuurbescherming, drinkwatervoorziening, recreatie en ook landbouw. Met name in zandgebieden kunnen de belangentegenstellingen groot zijn, enerzijds omdat de concentraties van vele verbindingen in grond- en oppervlaktewater hier van nature zeer laag zijn en anderzijds omdat de mestoverschotten lokaal groot kunnen zijn als gevolg van de ontwikkeling van de intensieve veehouderij in de afgelopen jaren.

Indien gesproken wordt over waterkwaliteitsaspecten in relatie met bemesting wordt in eerste instantie gedacht aan de stikstof- en fosfaatverbindingen. Behalve dat deze twee groepen stoffen tesamen met kalium van groot belang zijn vanuit bemestingsoogpunt spelen ze ook een belangrijke rol bij de eutrofiëring van water. In het drinkwater zijn te hoge nitraatconcentraties bovendien schadelijk voor de gezondheid van mens en dier, terwijl in viswater ammoniak ongewenst is in verband met de toxiciteit.

Bij de beoordeling van de geschiktheid van water voor de verschillende gebruikdoeleinden worden ook andere parameters gebruikt, zoals totaal zoutgehalte, chlorideconcentratie en hardheid ten behoeve van beregning in land- en tuinbouw en drinkwaterbereiding voor mens en dier. Bij het natuurbeheer kunnen weer andere parameters van belang zijn.

In deze bijdrage zal worden ingegaan op de gevolgen van bemesting in de land- en tuinbouw voor de gehalten van het grondwater aan fosfaat, stikstof en een aantal andere elementen en waterkwaliteitsparameters.

Om vast te kunnen stellen welke de consequenties zijn van bemesting voor de chemische samenstelling van het water moet de basisbelasting van het grondwater bekend zijn voor de situatie zonder bemesting. Informatie hierover geeft het onderzoek van grondwater onder natuurterreinen.

2. FOSFAAT

2.1. Bemesting en onttrekking door gewassen

De fosfaatbemesting die voor bouwland wordt geadviseerd is afhankelijk van bodemtype, gewas en fosfaattoestand van de grond. Als voorbeeld wordt in tabel 2 voor bouwland op diluviale zandgrond, dalgrond, rivierklei en löss weergegeven welke fosfaatgift moet worden toegediend bij verschillende waarderingen van de fosfaattoestand. De fosfaattoestand wordt vastgesteld op basis van het fosfaatgehalte in het water-extract van een grondmonster en wordt uitgedrukt in het Pw-getal (mg P_2O_5 per 1 droge grond). De bemestingsadviezen voor bouwland op zeeklei en alluviale grond liggen wat lager, die voor groentegewassen over het algemeen hoger (CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN IN DE LANDBOUW, 1977). Voor grasland wordt de fosfaattoestand gekarakteriseerd door het P-AL-getal (mg P_2O_5 per 100 g droge grond). Hierbij vindt extractie plaats met een oplossing van ammonium-lactaat. Voor een aantal bodemtypen is weergegeven in tabel 3 welke fosfaatbemesting wordt geadviseerd in afhankelijkheid van de fosfaattoestand en het graslandgebruik.

Tabel 2. Geadviseerde hoeveelheid fosfaatbemesting voor bouwland op diluviale zandgrond, dalgrond, rivierklei en löss in afhankelijkheid van de fosfaattoestand en het gewas (HANDBOEK VOOR DE AKKERBOUW, 1973)

| Waardering | Pw-getal | Bemesting in kg P per ha | | | |
|----------------|----------|--------------------------|----|----|----|
| | | Gewasgroepen | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Zeer laag | <11 | 106 | 97 | 79 | 62 |
| Laag | 11/20 | 79 | 70 | 57 | 40 |
| Voldoende | 21/30 | 62 | 53 | 40 | 26 |
| Ruim voldoende | 31/45 | 44 | 35 | 26 | 13 |
| Vrij hoog | 46/60 | 26 | 22 | 13 | 0 |
| Hoog | >60 | 13 | 9 | 0 | 0 |

Opmerkingen bij tabel 2:

1. De gewasgroepen zijn:

- groep 1. consumptie-aardappelen, fabrieksaardappelen, mais, uien, spruiten, spinazie, wortelen en aardbeien,
- groep 2. suikerbieten, voederbieten, zaadbieten, vlas en karwij,
- groep 3. vlinderbloemigen, 1- en 2-jarig grasland, gerst en witlof,
- groep 4. granen (behalve gerst), kanariezaad, blauwmaanzaad, graszaad, spinaziezaad en andere zaadgewassen.

Tabel 3. Bemestingsadvies van fosfaat voor grasland op veengrond, zandgrond, zeeklei en dalgrond in afhankelijkheid van de fosfaattoestand en het graslandgebruik (HANDBOEK VOOR DE AKKERBOUW, 1973)

| Waardering | P-AL-getal | Bemesting in kg P per ha | | |
|----------------|------------|--------------------------|-------------------|------------------------|
| | | alleen weiden | 1 x maaien daarna | per snede extra maaien |
| Laag | <18 | 31 | 40 | 13 |
| Vrij laag | 18/29 | 22 | 31 | 13 |
| Voldoende | 30/39 | 11 | 20 | 13 |
| Ruim voldoende | 40/55 | 4 | 11 | 13 |
| Hoog | >55 | 0 | 0 | 0 |

De onttrekking door gewassen vertoont grote verschillen en is afhankelijk van de totale droge stof produktie van een gewas en van het fosfaatgehalte. De fosfaatonttrekking door enkele landbouwgewassen en grasland bij een goede oogst wordt gegeven in tabel 4.

Tabel 4. De onttrekking aan fosfaat, stikstof, kalium, calcium en magnesium door een aantal gewassen bij een goede oogst (HANDBOEK VOOR DE AKKERBOUW, 1973)

| Gewas | Droge stof- produktie (kg.ha ⁻¹) | Gemiddelde onttrekking per oogst (kg.ha ⁻¹) | | | | |
|---------------------------------|--|---|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|
| | | fosfaat (P) | stikstof (N) | kalium (K) | calcium (Ca) | magnesium (Mg) |
| <u>GRANEN:</u> | | | | | | |
| Tarwe | 9 000 | 25 | 131 | 65 | 11 | 18 |
| Rogge | 7 200 | 14 | 65 | 54 | 8 | 6 |
| Mais (korrel) | 4 700 | 14 | 70 | 14 | 2 | 5 |
| <u>KNOL- EN WORTELGEWASSEN:</u> | | | | | | |
| Cons. aardappelen | 9 200 | 24 | 120 | 188 | 7 | 11 |
| Suikerbieten | 19 600 | 45 | 266 | 288 | 85 | 55 |
| <u>GROENVOEDERGEWASSEN:</u> | | | | | | |
| Grasl. hooi (1e snede) | 4 000 | 14 | 108 | 109 | 20 | 6 |
| Snijmais | 12 500 | 36 | 188 | 197 | 36 | 19 |

In de fosfaatbehoefte kan zowel worden voorzien via kunstmest als stalmest. Het nadeel van stalmest is echter dat de chemische samenstelling grote verschillen vertoont, zodat een juiste dosering moeilijk kan worden toegediend. De hoeveelheid fosfaat die per ha cultuurgrond in 1975 gemiddeld is aangevoerd (tabel 1) is belangrijk groter dan de onttrekking door gewassen. De gevolgen van het gevoerde bemestingsbeleid voor de grondwaterkwaliteit is afhankelijk van het gedrag van fosfaat in de grond. Hierop zal in het volgende hoofdstuk worden ingegaan.

2.2. Gedrag in de bodem

De fosfaatverbindingen kunnen globaal worden verdeeld in anorganische en organische verbindingen. De mobiliteit van anorganische fosfaten is in bijna alle gronden zeer beperkt als gevolg van chemische reacties met kleimineralen en vooral met bepaalde metaal-
-ionen. In zure gronden worden de fosfaat-
-ionen gebonden aan ijzer en aluminium hydroxiden en oxiden en aan de positief geladen platen van bodemkolloïden; in neutrale en kalkrijke gronden worden de

anorganische fosfaten neergeslagen als calciumverbindingen. De oplosbaarheid kan aanzienlijk toenemen door complex-vorming van fosfaat met metaal-ionen zoals Fe^{2+} , Ca^{2+} en Mg^{2+} . De mate van complexering zal afhangen van de relatieve concentraties van fosfaat- en metaal-ionen, de zuurgraad en de aanwezigheid van andere verbindingen zoals SO_4^{2-} , CO_3^{2-} en organische stof. Het mobiele fosfaat in de bodemoplossing bestaat voornamelijk uit opgeloste en kolloïdale organische fosforverbindingen. De grote mobiliteit van organische fosfaten hangt samen met de geringe adsorptie aan bodemdeeltjes. Een illustratie van de verschillen in adsorptiegedrag van anorganisch en organisch fosfaat voor een aantal gronden geeft tabel 5.

Tabel 5. Adsorptie van fosfor uit varkensdrijfmest in gronden; 5 g droge grond werd 24 uur geschud met 10 ml drijfmestoplossing, die een filter van 0,2 μm was gepasseerd, waarna in de bovenstaande vloeistof totaal en anorganische fosfor zijn bepaald (GERRITSE, 1977)

| Grondsoort | Organische stof % | $K^1)$ anorganisch P (ml/g) | $K^1)$ organisch P (ml/g) |
|--------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 'Beek' aarde | 15 | 67 | 1 |
| 'Beek' aarde | 14 | 38 | 1 |
| Veen/klei | 59 | 1600 | 4 |
| Veen/klei | 45 | 1700 | 2 |

1) K = verhouding tussen aan de grond geadsorbeerde fosfor en fosfor in de bodemoplossing na 24 uur schudden.

2.3. Basisbelasting van grondwater

Aan de hand van de fosfaatconcentraties in het bovenste grondwater van natuurterreinen kan een indruk worden verkregen van de basisbelasting zonder bemestingsinvloed. De fosfaatconcentratie wordt in belangrijke mate bepaald door de bodemsamenstelling en de hydrologische situatie. De laagste totaal-fosfaatgehalten komen

voor op zandgrond en rivierklei; zeer hoge gehalten zijn gemeten bij veenprofielen en mariene afzettingen (tabel 6). Het aandeel van ortho-fosfaat in het totaal-fosfaatgehalte is over het algemeen klein, uitgezonderd het zeekleiprofiel. Uit regionale onderzoeken in Noord-Holland, Zuid-Holland, Groningen en Friesland blijkt, dat bij mariene sedimenten de fosfaatgehalten van het grondwater beduidend hoger liggen dan bij rivierafzettingen (ANONIEM, 1976; BOTS e.a., 1978).

Tabel 6. Fosfaatgehalten (g P/m³) in de bovenste meter van het grondwater onder natuurterreinen bij verschillende bodemtypen (STEENVOORDEN, 1976; BOTS e.a., 1978)

| Bodemtype | Begroeiing | Ortho-fosfaat | Totaal-fosfaat |
|---------------------|------------|---------------|----------------|
| Zand | loofhout | 0,04 | 0,08 |
| Rivierklei | loofhout | 0,01 | 0,11 |
| Hoogveen op zand | heide | 0,04 | 0,11 |
| Mesotroof laag veen | blauwgras | 0,07 | 0,49 |
| Zeeklei | loofhout | 1,5 | 1,6 |
| Zeeklei | loofhout | 4,7 | 6,0 |

De basisbelasting van grond- en oppervlaktewater kan dus zeer sterk variëren, als gevolg van min of meer natuurlijke verschillen in bodemsamenstelling en hydrologie.

2.4. I n v l o e d b e m e s t i n g

In de landbouw wordt al gedurende tientallen jaren fosfaat aan de bodem toegediend in de vorm van kunstmest en dierlijke mest. Over het algemeen is deze bemesting afgestemd op de jaarlijkse ont-trekking door het gewas. Uit langjarige bemestingsproeven blijkt dat de verplaatsing van fosfaat onder deze omstandigheden gering is. Na meer dan 100 jaar bemesting van zand bouwland met 35 ton stal-mest en/of 33 kg P per ha per jaar vonden COOKE en WILLIAMS (1970)

dat het fosfaat tot ongeveer 20 cm beneden de bouwvoor was doorgedrongen (fig. 1).

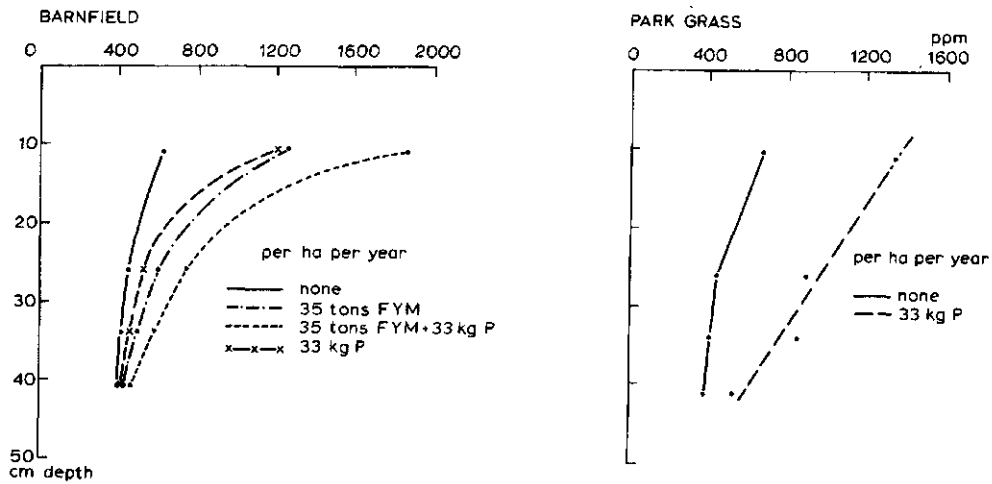


Fig. 1. Invloed van een langdurige bemesting met stalmest (in tonnen) en kunstmest-fosfaat (in kg) op het totaal-fosfaatgehalte van een zandgrond (COOKE en WILLIAMS, 1970)

Voor grasland vonden ze een iets grotere verplaatsing na een 110-jarige bemesting met 33 kg kunstmest-P per ha per jaar. Hetzelfde is gevonden onder Nederlandse omstandigheden. Bij een zand-bouland-lysimeter, die jaarlijks werd bemest met 25 kg kunstmest-P per ha, was na 40 jaar het fosfaat verplaatst tot 5 cm beneden de bouwvoor (KOLENBRANDER, 1971). De benedenwaartse verplaatsing van fosfaat is in belangrijke mate afhankelijk van het bodemtype.

Uit een potproef van DE VRIES en VAN DER PAAUW (1937), waarbij 130 kg kunstmest-P per ha werd gegeven in een laagje grond van 4-5 cm dikte, blijkt dat na 336 dagen en 775 mm beregening de indringing voor de verschillende gronden bedraagt: laagveen 1 cm, klei en zavelgrond ca. 6 cm, zand- en esgrond ca. 12 cm en jonge dalgrond meer dan 15 cm. Uit analyseresultaten van drain- en grondwater blijkt dat, indien een bemestingsbeleid wordt gevoerd waarbij de fosfaatgift redelijk is afgestemd op de onttrekking door het ge-

was, geen meetbare verhoging optreedt van het fosfaatgehalte, uitgezonderd bij jonge dalgrond (tabel 7).

Tabel 7. Totaal-fosfaatgehalten (g P/m^3) in het drainwater van bouwland (HENKENS, 1971) en in het grondwater van grasland (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1977) voor verschillende bodemtypen

| Grasland | | Bouwland | |
|------------|------|----------------|------|
| Zand | 0,04 | Zand | 0,02 |
| Rivierklei | 0,05 | Rivierklei | 0,04 |
| Laagveen | 0,11 | Oude dalgrond | 0,02 |
| | | Jonge dalgrond | 0,73 |

Juist op de zandgronden, waar de mobiliteit van fosfaat in de grond vrij groot is, heeft zich de ontwikkeling voorgedaan naar de intensieve veehouderij. In deze gebieden is het gevaar groot dat door de aanwezigheid van mestoverschotten de bemesting op een hoger niveau komt te liggen dan de gewasonttrekking. Afhankelijk van de overdosering zou dit na verloop van tijd kunnen resulteren in verhoogde gehalten aan organisch fosfaat in het grondwater. Het onderzoek naar de effecten van hoge drijfmestgiften bij bouwland op de chemische samenstelling van het grondwater vinden pas sedert 1972 plaats en geven voor fosfaat nog geen uitsluitsel over de mogelijke uitspoeling bij langdurige overdosering.

Een landbouwkundige tak waar het meststoffenverbruik op een zeer hoog niveau ligt, is de glastuinbouw. Afhankelijk van met name de grondsoort kan de jaarlijkse fosfaatbemesting enkele honderden kg P/ha bedragen. Op één bedrijf waar de water- en mineralenhuishouding is onderzocht (HAMAKER en VAN BEUSEKOM, 1977) is voor een komkommer- en tomatenteelt totaal ca. 300 kg P/ha aangevoerd via bemesting (tabel 8). Ondanks de relatief geringe fosfaatopname in het gewas bedroeg de concentratie in het drainagewater $0,1 \text{ à } 0,4 \text{ g P/m}^3$. De concentratie ligt zelfs op een lager niveau dan van het

oppervlaktewater dat voor berekening wordt gebruikt. Het bedrijf is sinds 1972 in gebruik voor de glastuinbouw. Verwacht mag worden dat de fosfaatuitspoeling toeneemt bij langdurige voortzetting van dit bemestingsbeleid.

Tabel 8. De aan- en afvoer van enkele meststoffen (kg/ha) op één glastuinbouwbedrijf tijdens een komkommer- en tomatenteelt in de periode 1/8'75-1/8'76 (HAMAKER e.a., 1977)

| | Cl | N | P | K | Mg |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| Kunstmest + organ. mest | 91 | 1413 | 285 | 1854 | 320 |
| Beregeningswater | 3282 | 132 | 14 | 316 | 424 |
| Totale aanvoer | 3373 | 1545 | 299 | 2170 | 744 |
| Gewasopname | 275 | 542 | 118 | 944 | 98 |
| Drainafvoer | 2894 | 1007 | 1,5 | 151 | 360 |
| Totale afvoer | 3169 | 1549 | 119,5 | 1095 | 458 |
| Aanvoer-afvoer | 204 | - 4 | 179 | 1075 | 286 |

3. STIKSTOF

3.1. B e m e s t i n g e n o n t t r e k k i n g d o o r g e w a s s e n

Stikstofbemesting kan plaatsvinden met behulp van kunstmeststoffen of dierlijke mest. De kunstmeststikstof kan als direct opneembaar voor de plant worden beschouwd. Van dierlijke mest is slechts een deel van de stikstof opneembaar in het jaar van toediening. Dit deel bedraagt ca. 75% van de totale hoeveelheid stikstof voor rundvee- en varkensdrijfmest en ca. 90% voor kippe- en kalfdrijfmest (SLUIJSMANS en KOLENBRANDER, 1976). Het restant van de stikstof bestaat uit een moeilijk aantastbare fractie, waarvan de mineralisatie in de loop van de volgende jaren plaats vindt. Bij een jaarlijks terugkerende bemesting met dierlijke mest neemt de

hoeveelheid moeilijk aantastbare organische stof in de bouwvoor toe en dus ook het humusgehalte. Pas na vele tientallen jaren stelt zich een evenwicht in. Dit punt is bereikt als de jaarlijks toegevoerde hoeveelheid stikstof in de moeilijk aantastbare fractie gelijk is aan de hoeveelheid stikstof die door mineralisatie wordt gevormd uit de humus. Van de minerale stikstof in dierlijke mest wordt slechts een deel opgenomen door het gewas aangezien verliezen optreden door ammoniak vervluchtiging tijdens het bewaren en het uitrijden, door denitrificatie in de bodem en door uitspoeling naar het grondwater.

De stikstofbemesting is sterk afhankelijk van het geteelde gewas. Bij bouwlandgewassen varieert de onttrekking van ca. 75 kg N voor de meeste granen tot ca. 260 kg N voor suikerbieten bij een goede oogst. Voor grasland kan de droge stof produktie meer dan 15 ton bedragen, hetgeen een onttrekking van ca. 300 kg N betekent (tabel 4). In verband met stikstofverliezen zal de bemesting op een hoger niveau moeten liggen. Voor granen vermeldt het bemestingsadvies maximaal 130-160 kg kunstmest-N (CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN, 1977), terwijl op grasland giften mogelijk zijn tot ca. 450 kg N per ha per jaar.

Bij een intensief bouwplan, zoals dat in gebieden met vee-concentraties veel voorkomt, kan de gemiddelde behoefte van de bouwlandgewassen gesteld worden op 150 kg (kunstmest-) stikstof per ha. Omdat de stikstof van dierlijke mest minder efficiënt werkt, is hiervan een grotere hoeveelheid nodig voor eenzelfde resultaat. Bij een werkingscoëfficiënt van 55% die van toepassing is bij jaarlijks gebruik van mest en een gemiddelde voorstelt van voor- en najaarsaanwending, is die hoeveelheid dus $100/55 \times 150 = 272$ kg stikstof. In tabel 9 is vermeld met hoeveel ton mest van de verschillende diersoorten dit overeenkomt.

Tabel 9. Hoeveelheden mest, die gelijkwaardig zijn aan 150 kg kunstmest-N en de daarmee gegeven hoeveelheden P, K, Ca en Mg

| | | Rundvee drijfmest | Varkens drijfmest | Kippemest (vast) | Kuikenmest (vast) | kalver drijfmest |
|--------------------------------|---------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Tonnen mest | | 60 | 40 | 22 | 12 | 90 |
| Fosfaat | (kg P) | 53 | 84 | 180 | 110 | 53 |
| Kalium | (kg K) | 249 | 133 | 166 | 158 | 183 |
| Calcium | (kg Ca) | 86 | 100 | 370 | 168 | - 1) |
| Magnesium | (kg Mg) | 36 | 24 | 33 | 40 | - 1) |
| Gehalte aan droge stof (°/oo) | | 95 | 80 | 322 | 560 | 20 |

1) - = niet bekend

3.2. Gedrag van stikstof in de bodem

In verband met het transport van stikstof in de bodem zijn een aantal factoren en processen van belang, namelijk:

- bemesting en opname door het gewas
- chemische en biochemische omzettingen in de bodem
- fysisch-chemische interacties tussen stikstofverbindingen en bodemdeeltjes
- de grootte van het neerslagoverschot

Het verloop van de voorraad minerale stikstof in de bodem bij een akkerbouwgewas, dat de normale bemesting krijgt, is voor aardappelen weergegeven in fig. 2. De stikstof komt hoofdzakelijk voor in de vorm van nitraat. In het voorjaar wordt door de toediening van een kunstmestgift het minerale stikstofgehalte plotseling verhoogd. Daarna vindt een geleidelijke verdere stijging plaats door mineralisatie van de organische stof uit de humus in de bodem en de eventueel uitgereden dierlijke mest. Als de gewasgroei op gang komt daalt het stikstofgehalte als gevolg van de opname door het gewas. Tevens vindt denitrificatie plaats en vastlegging in organische stof (immobilisatie). Na de oogst treedt een belangrijke accumulatie van nitraat op in het bodemprofiel, omdat de mineralisatie van organische stof, waar nu ook de achtergebleven wortel- en loofresten toebehoren, door gaat. Indien geen wintergewas wordt ingezaaid zal een belangrijk

deel van de minerale stikstof uitspoelen naar het grond en oppervlaktewater met de neerslagoverschotten in de winterperiode (fig. 2).

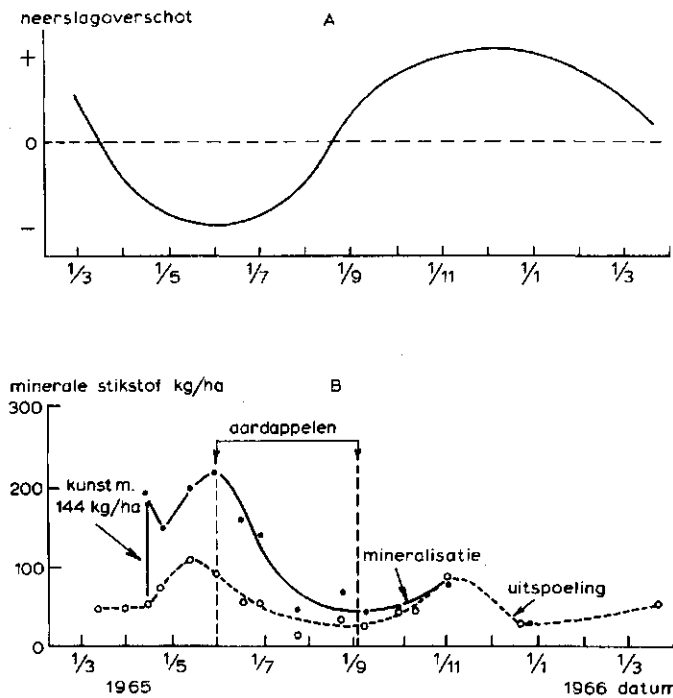
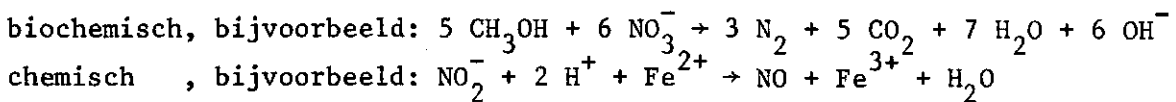


Fig. 2. Globale verdeling van het neerslagoverschot over een jaar (a) en het verloop van de hoeveelheid minerale stikstof in een bodemprofiel van 1 m bij aardappelen (b) (KOLENBRANDER, 1978)
(o---o = zonder bemesting; .---. = met bemesting)

Behalve door immobilisatie in de vorm van gewas en humus kan minerale stikstof ook uit het bodemsysteem verdwijnen door denitrificatie. Bij dit proces wordt het nitraat dat bij de mineralisatie is gevormd, omgezet in gasvormige verbindingen (N_2 , N_2O , NO). De denitrificatie kan zowel plaatsvinden via chemische als biochemische reacties:



De chemische denitrificatie is alleen van belang bij pH-waarden van 5 en lager en bovendien moet voldoende gereduceerd ijzer aanwezig zijn. Aan deze voorwaarden wordt onder Nederlandse omstandigheden slechts weinig voldaan. Voor biochemische denitrificatie geldt als voorwaarden dat er gebrek is aan zuurstof en dat voldoende organische stof beschikbaar is die door denitrificerende bacteriën kan worden benut. De optimum pH-waarde bedraagt 7 tot 8. Zowel in de bouwvoor als in het grondwater kunnen de condities gunstig zijn voor biochemische denitrificatie.

Het transport van stikstof door de bodem naar het grondwater vindt plaats via de waterfase. Als de kwantitatief belangrijkste verbindingen in water kunnen worden beschouwd NO_3^- , NH_4^+ en organisch-N. Door de overwegend negatieve lading van de bodemdeeltjes wordt het NO_3^- -ion ongeveer even snel verplaatst als het water, terwijl de NH_4^+ -ionen in belangrijke mate worden vertraagd als gevolg van adsorptieprocessen. Omdat organische N-verbindingen zowel neutraal, positief als negatief geladen groepen kunnen bevatten zal het transportgedrag tussen dat van NO_3^- en NH_4^+ in liggen. Bij het uitspoelingsproces zal dus vooral het mobiele NO_3^- een belangrijke rol spelen.

Zonder neerslagoverschot treedt geen uitspoeling op en accumuleren alle zouten in de bouwvoor. Onder Nederlandse omstandigheden wordt in de winterperiode gemiddeld ca. 100 à 150 mm geborgen in het bodemprofiel en 300 mm afgevoerd naar het grondwater. Voor deze situatie kan worden berekend dat van de hoeveelheid minerale stikstof die in het najaar in de bouwvoor aanwezig is op zandgrond ca. 50% uitspoelt beneden een diepte van 1,20 m. Onder deze diepte moet in het algemeen de stikstof als verloren worden beschouwd voor het gewas (RIJTEMA, 1978). De invloed van vochtberging en grondwatervoeding op de uitspoeling is weergegeven in fig. 3. De stikstofverliezen door uitspoeling, en dus ook de belasting van het milieu, kunnen worden beperkt door verhoging van de vochtberging in het profiel. Dit kan soms worden bereikt door een verbeterde ontwatering of door het opheffen van slecht doorlatende lagen op geringe diepte via grondverbeteringstechnieken. De verbeterde waterhuishouding leidt tot een betere benutting van de meststoffen en een verhoogd produktieniveau.

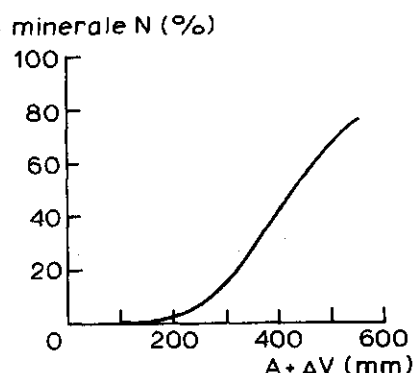


Fig. 3. Invloed van vochtberging (ΔV) en grondwatervoeding (A) op de uitspoeling van minerale stikstof naar diepten beneden 1,20 m bij lichte gronden, uitgedrukte in procenten van de voorraad die in het najaar in de bouwvoor aanwezig is (RIJTEMA, 1978)

3.3. Basisbelasting van het grondwater

Informatie over de basisbelasting van grondwater is verzameld door onderzoek van grondwater onder natuurterreinen. Voor de stikstofgehalten van het grondwater is behalve de bodemsamenstelling eveneens de hydrologische situatie van grote betekenis. In gebieden met zoute kwel komen zeer hoge concentraties stikstof voor, met name in de vorm van ammonium. In het algemeen worden mariene sedimenten gekenmerkt door hoge ammoniumgehalten die op kunnen lopen tot meer dan 40 g N/m^3 (ANONIEM, 1976; BOTS e.a., 1978). Het natuurgebied op zeelei is hiervan een voorbeeld (tabel 10). Voor gebieden waar zoute kwel geen rol speelt is de rijkdom van de bodem aan organische stof bepalend voor de basisbelasting. De hoogste stikstofgehalten worden gemeten onder hoog- en laagveen. Incidenteel komt in het bovenste grondwater van natuurterreinen op zandgrond nitraat voor. Bij een onderzoek in Midden-Brabant werd bij 4 van de 18 grondwater-

buizen in bospercelen nitraat aangetoond in concentraties van 2 tot 7 g N/m³ (STEENVOORDEN en VAN DAM, 1977). Nitriet is meestal aanwezig in hoeveelheden kleiner dan 0,01 g N/m³.

Tabel 10. Stikstofgehalten (g N/m³) in de bovenste meter van het grondwater onder een aantal natuurterreinen op verschillende bodemtypen (STEENVOORDEN, 1976; BOTS e.a., 1978)

| Bodemtype | Begroeiing | NH ₄ ⁺ | Organisch-N | Totaal-N |
|--------------------|------------|------------------------------|-------------|----------|
| Zand | naaldhout | 0,5 | 0,5 | 1,0 |
| Rivierklei | loofhout | 0,1 | 0,4 | 0,9 |
| Hoogveen op zand | heide | 0,8 | 0,5 | 1,5 |
| Mesotroof laagveen | blauwgras | 1,9 | 2,1 | 4,4 |
| Zeeklei | loofhout | 8,1 | 1,7 | 10,0 |
| Zeeklei | loofhout | 13,1 | 2,5 | 15,8 |

De totale jaarlijkse stikstofbelasting van het grondwater onder natuurterreinen kan bij een gemiddelde grondwatervoeding van 300 mm worden gesteld op ca. 2,5 kg N/ha voor rivierklei en zand tot ca. 13 kg N/ha voor mesotroof laagveen. In geval van zoute kwel kan de stikstofbelasting oplopen tot vele tientallen kg N/ha, afhankelijk van de kwelintensiteit.

3.4. Invloed van bemesting

De invloed van het landbouwkundig bodemgebruik op de stikstofbelasting van het grondwater is mede afhankelijk van:

- bodemgebruik (grasland, bouwland, tuinbouw)
- bodemsamenstelling (zand, klei, veen)
- bemestingsniveau en -vorm (kunstmest, dierlijke mest)
- gewas (o.a. vlinderbloemig, niet vlinderbloemig) en
- waterhuishouding

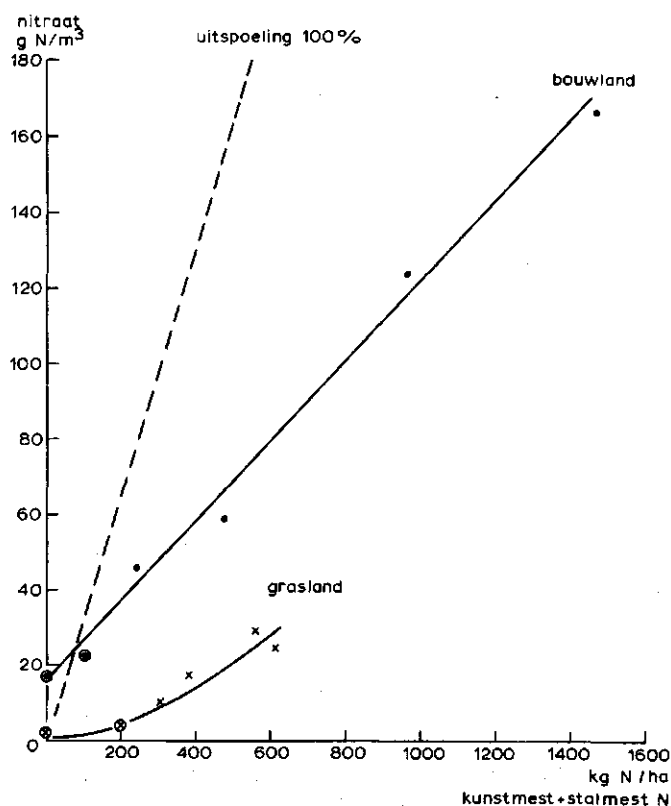


Fig. 4. Verloop van de nitraatconcentratie (g N/m^3) in het bovenste grondwater onder invloed van de toegediende stikstofbemesting bij bouw- en grasland op zandgrond

- drijfmest op mais (STEENVOORDEN)
- ⊙ lysimeteronderzoek (KOLENBRANDER)
- x stalmest + kunstmest op grasland (STEENVOORDEN)
- ⊗ lysimeteronderzoek (KOLENBRANDER)

(---: verloop van de nitraatconc. indien alle toegediende stikstof uitspoelt bij een gem. grondwatervoeding van 300 mm/jaar)

De uitspoeling van nitraat bij eenzelfde bemestingsniveau is voor bouwland veel hoger dan voor grasland (fig. 4). Een voorname oorzaak is de afwezigheid van een gewas in de winterperiode, zodat het bij het mineralisatieproces gevormde nitraat in de wintermaanden in belangrijke mate kan uitspoelen.

Via de organische mest wordt altijd een hoeveelheid organisch gebonden stikstof gegeven die moeilijk afbreekbaar is en waarvan de mineralisatie ook in najaar en winter doorgaat. Indien de bemesting jaarlijks plaats vindt in de vorm van organische mest dan zal in de loop van de tijd de stikstofuitspoeling toenemen. Aangezien de proef, waarbij runderdrijfmest wordt gegeven aan snijmais (fig. 4), gestart is in 1974 mag worden verwacht dat de nitraatconcentraties de komende jaren nog zullen stijgen. In het grondwater zijn geen verhoogde concentraties gemeten van ammonium en organisch-N; de nitrietconcentratie kan oplopen tot $0,4 \text{ g N/m}^3$. Zeer groot is de invloed van de stikstofgift op de nitraatconcentratie onder bouwland en in mindere mate onder grasland.

In de glastuinbouw wordt intensief berekend mede ter voorkoming van zoutophoping in de bodem, zodat de situatie afwijkt van die bij gras- en bouwland. Bij het door HAMAKER en VAN BEUSEKOM (1977) onderzochte bedrijf lag bovendien het waterverbruik extra hoog zodat een drainafvoer van 750 mm/jaar en een afvoer van (tabel 8) ca. 1000 kg N/ha bij een bemesting van ca. 1500 kg N/ha niet de gemiddelde situatie weergeeft in de glastuinbouw. Door de grote variatie in gewassen en teeltomstandigheden zal de variatie in uitspoeling ook bijzonder groot zijn. De gemiddelde nitraatconcentratie in het drainwater van het glastuinbouwbedrijf bedroeg ca. 135 g N/m^3 .

De bodemsamenstelling speelt een belangrijke rol bij uitspoeling (tabel 11). Een vergelijkbaar bemestingsniveau bij graslandbedrijven veroorzaakt op zandgrond veel hogere nitraatconcentraties dan op humeuze zandgrond of een grond met een zwaardere structuur zoals kleigrond.

Door vlinderbloemige gewassen kan jaarlijks onder gunstige omstandigheden tot ca. 300 kg N per ha worden gebonden uit de atmosfeer. Op bouwland bedraagt de via drains afgevoerde stikstof het twee- tot vijfvoudige van de hoeveelheid die bij niet-vlinderbloemige gewassen tot afvoer komt (KOLENBRANDER, 1977). Oorzaak hiervan is de afwezigheid van een gewas dat de grote hoeveelheid gemineraliseerde stikstof in het najaar kan vastleggen.

Tabel 11. De invloed van het bodemtype op de nitraatgehalten (g N/m³) in de bovenste halve meter van het grondwater onder grasland bij een bemesting (kg N/ha/jaar) zoals aangegeven (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1977)

| Bodemtype | Kunstmest | Dierlijke mest | Totale bemesting | NO ₃ ⁻ |
|-------------------|-----------|----------------|------------------|------------------------------|
| Zand | 350 | 205 | 555 | 29 |
| Lemig veenh. zand | 335 | 165 | 500 | 1 |
| Kleiïg zand | 435 | 170 | 605 | 5 |
| Zware klei | 360 | 130 | 490 | 0 |

Op het grote belang van een goede ontwatering in verband met de stikstofuitspoeling is reeds in hoofdstuk 3.2 gewezen. Onder gemiddelde weersomstandigheden spoelt in Nederland op zandgrond bij een goede ontwatering ongeveer 50% van de minerale stikstof uit de bouwvoor uit en bij een matige ontwatering ongeveer 80% (RIJTEMA, 1978).

4. OVERIGE VERBINDINGEN

4.1. A l g e m e e n

Indien van een bepaald element onvoldoende in de bodemoplossing beschikbaar is kan dit tot uiting komen in een slechte bodemstructuur, een lage droge stofproduktie, ziekte bij het vee, een afwijkende kleur van de bladeren van het gewas, een storing in de vruchtvorming, enz. Afhankelijk van de aan te wenden hoeveelheid bij de bemesting wordt onderscheid gemaakt tussen macro-elementen (N, P, K, Ca, Mg, S) en sporenelementen (Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo). In deze bijdrage blijven de sporenelementen verder buiten beschouwing. Aanvoer van de benodigde mineralen voor landbouwgrond kan in principe plaatsvinden via kunstmest en dierlijke mest. Nadelen bij een aanwending van dierlijke mest is dat de concentratie van een bepaald

element in een bepaalde soort mest kan variëren en dat de mineralen in dierlijke mest niet voorkomen in de verhouding waarin de plant ze nodig heeft (tabel 4 en 9). Indien bij bouwland de gift dierlijke mest wordt afgestemd op N dan wordt fosfaat altijd overgedoseerd. Bij de meeste andere elementen is het sterk afhankelijk van het gewas.

Het verbruik van kunstmeststoffen is in Nederland tot 1975 sterk gestegen evenals de produktie van mineralen in dierlijke mest (CBS, 1977). Tabel 1 toont dit voor stikstof, fosfaat en kali. Voor Ca en Mg leveren het huidige verbruik en de produktie via dierlijke meststoffen globaal het volgende beeld in kg/ha cultuurgrond (MINISTERIE VAN LANDBOUW EN VISSERIJ, 1974):

| | Ca | Mg |
|-------------------------------|-----|----|
| Dierlijke meststoffen (1974) | 42 | 18 |
| Kunstmeststoffen (1972/'73) | 85 | 13 |
| Totaal, ca. | 127 | 31 |

De onttrekking door de gewassen ligt in de meeste gevallen op een lager niveau (tabel 4). Op de consequenties van de toediening van deze meststoffen voor de chemische samenstelling van het grondwater zal in de volgende paragraaf worden ingegaan.

4.2. Basisbelasting van het grondwater

Ter beoordeling van de gevolgen van bemesting voor de chemische samenstelling van het grondwater wordt het grondwater onder natuurterreinen als referentiebasis genomen. Verschillen in bodemtype en kwelintensiteit, waar het chloridegehalte een indicatie van geeft, veroorzaken een grote variatie in concentratie tussen de natuurterreinen onderling (tabel 12). Ook binnen eenzelfde bodemkundige eenheid kunnen grote verschillen in concentratie zich voordoen. Soms kan deze verklaard worden uit chemische bodemeigenschappen zoals de zuurgraad, soms hangt het verschil samen met de verdamping door de vegetatie. Een hogere verdamping veroorzaakt als het ware een in-dikking van het bodemvocht. Met name de chloride- en sulfaatconcent-

traties worden hierdoor beïnvloed (STEENVOORDEN en VAN DAM, 1977).

Tabel 12. De chemische samenstelling in de bovenste halve meter van het grondwater onder verschillende natuurterreinen (BOTS e.a., 1978; STEENVOORDEN en VAN DAM, 1977

| | Zand | Laagveen | Hoogveen | Rivierklei | Zeeklei | |
|-------------------------------------|------|----------|----------|------------|---------|------|
| Cl ⁻ (g/m ³) | 19 | 34 | 14 | 32 | 59 | 865 |
| HCO ₃ ⁻ (") | 112 | 147 | 12 | 335 | 456 | 1270 |
| SO ₄ ²⁻ (") | 52 | 96 | 31 | 445 | 30 | 385 |
| Ca ²⁺ (") | 36 | 3 | 2 | 252 | 114 | 285 |
| Mg ²⁺ (") | 5 | 4 | 2 | 22 | 16 | 150 |
| Na ⁺ (") | 18 | 105 | 14 | 57 | 46 | 643 |
| K ⁺ (") | 3 | 4 | 2 | 2 | 18 | 48 |
| Zuurgraad (pH) | 6,3 | 6,5 | 5,3 | 7,0 | 7,5 | 7,3 |
| e.g.v. bij 25°C (μS/cm) | 275 | 510 | 160 | 1290 | 900 | 4600 |

4.3. Invloed van bemesting

De invloed van bemesting op grasland is nagegaan bij een groot aantal rundveehouderijbedrijven (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1977). Behalve stikstof en fosfaat zijn bij het onderzoek eveneens betrokken geweest: chloride, kalium, e.g.v. en zuurgraad (tabel 13). De hoeveelheid calcium en magnesium is berekend door uit het e.g.v. (x) de hoeveelheid zout (y, in meq/l) af te leiden volgens: $y = 0,0225 x$ (OOSTEROM en STEENVOORDEN, 1974). De helft hiervan komt voor rekening van kationen. Door hierop in mindering te brengen de ammonium, de kalium en de natrium (equivalent met chloride) resteert de hoeveelheid calcium en magnesium (in meq/l). Hieruit kan de hardheid worden afgeleid, aangezien: $1 \text{ meq}(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2,8^{\circ}\text{D}$. De kaliumconcentratie kan worden verklaard uit de veebezetting ($r^2 = 0,90$). De toevoer van kalium vindt dan ook voornamelijk plaats via de dierlijke meststoffen. De hardheid van het water neemt sterk toe met de bemesting

Tabel 13. Chemische samenstelling van de bovenste halve meter van het grondwater onder grasland op zandgrond onder invloed van kunstmestgift en veebezetting

| Kunstmest (kg N/ha/j) | Veebezetting (G.V.E.*/ha) | Cl ⁻ (g/m ³) | K ⁺ (g/m ³) | Hardheid (°D) | e.g.v. bij 25°C (µS/cm) |
|--------------------------|------------------------------|--|---------------------------------------|------------------|----------------------------|
| 180 | 2,8 | 33 | 10 | 11,9 | 485 |
| 265 | 2,6 | 60 | 9 | 16,0 | 680 |
| 350 | 3,4 | 54 | 13 | 17,4 | 720 |
| 460 | 3,4 | 54 | 15 | 20,4 | 820 |

*G.V.E. = 1 grootvee-eenheid = 1 melkkoe

en de veebezetting. Ongeveer één derde tot de helft van de Ca en Mg spoelt uit als nitraat de rest als sulfaat en bicarbonaat. De stijging van het e.g.v. bij toenemende bemesting wordt bij de kationen vrijwel geheel veroorzaakt door Ca en Mg. Van de totale zouttoevoer bij de onderzochte rundveehouderijbedrijven op zandgrond, die varieert van ca. 2700 kg bij de laagste bemestingsgroep tot ca. 4200 kg per ha voederoppervlak bij de hoogste groep is ongeveer 40 à 50% afkomstig van kunstmeststoffen en het restant van dierlijke meststoffen.

Het effect van hoge drijfmestdoseringen op opbrengst en kwaliteit van snijmais wordt sinds 1974 onder andere onderzocht door het Proefstation voor Rundveehouderij en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid op Proefboerderij Craenendonck te Maarheeze (N.B.), die gelegen is op zandgrond. De jaarlijkse dosering runderdrijfmest per ha op de verschillende proefpercelen neemt met 50 ton toe vanaf 50 ton tot 300 ton (10% d.s.). De hoogste gift komt overeen met ca. 1460 kg N, zodat de gift van 50 ton/ha kan worden beschouwd als een verantwoorde gift vanuit het oogpunt van de stikstofbehoefte van het gewas (tabel 9). In het najaar van 1977 is door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding een onderzoek gestart naar de chemische samenstelling van het bovenste grondwater onder de proefpercelen, waarvan de voorlopige resultaten in tabel 14 zijn weergegeven. De

analyses hebben betrekking op 3 analyses van het bovenste grondwater op een diepte van 1,00-1,10 m-m.v. Een gewogen gemiddelde van het naar het grondwater afgevoerde neerslagoverschot is berekend voor de periode september tot en met december 1977.

Tabel 14. Invloed van de dosering runderdrijfmest (ca. 10% d.s.) op de chemische samenstelling van het bovenste grondwater onder zandbouwland met snijmais (periode september-december 1977)

| Bemesting: | ton/ha/j | 50 | 100 | 200 | 300 |
|-------------------------------|---------------------|-----|-----|------|------|
| | kg N/ha/j | 240 | 475 | 960 | 1465 |
| Ca ²⁺ | (g/m ³) | 78 | 85 | 154 | 172 |
| Mg ²⁺ | (") | 14 | 16 | 33 | 30 |
| Na ⁺ | (") | 15 | 26 | 39 | 60 |
| K ⁺ | (") | 8 | 49 | 36 | 101 |
| SO ₄ ²⁻ | (") | 81 | 132 | 145 | 227 |
| Cl ⁻ | (") | 18 | 26 | 42 | 57 |
| HCO ₃ ⁻ | (") | 47 | 31 | 23 | 47 |
| E.G.V. bij 20°C | (µS/cm) | 630 | 860 | 1310 | 1650 |
| Zuurgraad | (pH) | 6,7 | 6,3 | 6,1 | 6,2 |

Van de kationen wordt bij alle bemestingsniveaus ca. 75% ingenomen door Ca en Mg. De toename van het zoutgehalte wordt bij de anionen behalve door NO₃⁻ (fig. 4), eveneens veroorzaakt door SO₄²⁻ en Cl⁻; bij de kationen door alle macro-ionen behalve NH₄⁺.

5. SAMENVATTING

Bij het bodemgebruik ten behoeve van de landbouw worden meststoffen toegediend ter verbetering van de bodemstructuur, ter verhoging van de gewasproductie en voor de verbetering van de kwaliteit van het produkt. In deze bijdrage wordt aandacht besteed aan

de gevolgen van de aanwending van meststoffen voor de chemische samenstelling van het grondwater. Met name wordt aandacht besteed aan de elementen stikstof en fosfor en in mindere mate aan de elementen kalium, calcium, magnesium, natrium, sulfaat, bicarbonaat en chloride.

Ter beoordeling van de effecten van bemesting op de waterkwaliteit wordt uitgegaan van de basisbelasting van het grondwater. Dit is de concentratie van een element in het grondwater onder natuurterreinen. De basisbelasting van het grondwater wordt in sterke mate beïnvloed door de chemische rijkdom van de bodem en door de hydrologische situatie. Hoge stikstof- en fosfaatgehalten komen voor bij bodemtypen die rijk zijn aan organische stof en in gebieden waar invloed is van zoute kwel. In de laatste situatie worden ook andere elementen in verhoogde concentraties aangetroffen.

De invloed van bemesting op de uitspoeling verschilt sterk van element tot element. Fosfaat wordt over het algemeen zeer sterk aan de bodem geadsorbeerd. In het grondwater onder landbouwpercelen worden dan ook concentraties gevonden die identiek zijn aan die onder natuurterreinen bij vergelijkbare bodemkundige omstandigheden. Verwacht mag worden dat langdurige toediening van grote hoeveelheden dierlijke meststoffen op den duur aanleiding zal geven tot een verhoogde uitspoeling van organisch fosfaat. Uitspoeling van stikstof vindt vrijwel uitsluitend plaats in de vorm van nitraat. Bij een vergelijkbaar bemestingsniveau is de uitspoeling voor bouwland beduidend hoger dan voor grasland o.a. als gevolg van het ontbreken op bouwland van een gewas in het najaar dat de gevormde minerale stikstof kan vastleggen. Nitraatuitspoeling is vooral van belang op zandgrond. Bij zwaardere gronden en gronden die rijk zijn aan organische stof in de ondergrond is de nitraatuitspoeling gering of afwezig. Van de overige elementen is vooral de bijdrage van calcium en magnesium van belang. De verhoogde zoutuitspoeling bij de kationen vindt voornamelijk plaats in de vorm van calcium en magnesium. Bij de anionen wordt de extra uitspoeling behalve door nitraat, eveneens mede ver-

oorzaakt door sulfaat en in mindere mate door chloride.

Het probleem van de grondwaterbescherming vraagt een gedifferentieerde benadering waarbij rekening wordt gehouden met verschillen in basisbelasting als gevolg van de bodenkundige en hydrologische situatie van het betreffende gebied.

6. LITERATUUR

ANONIEM, 1976. Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland. Werkgroep Midden West-Nederland. Regionale studies 9. ICW, Wageningen, 101 pp.

BOTS, W.C.P.M., P.E. JANSEN en G.J. NOORDEWIER, 1978. Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het Noorden des Lands. Regionale studies 13, 90 pp, ICW, Wageningen.

C.B.S., 1977. Statistisch zakboek 1977. Staatsuitgeverij, Den Haag, 373 pp.

CONSULENTSCHAP VOOR BODEMAANGELEGENHEDEN IN DE LANDBOUW, 1977. Adviesbasis voor bemesting van landbouwgronden, Wageningen, 47 pp.

COOKE, G.W. and R.J.B. WILLIAMS, 1970. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural land. Water Treatment and Exam. 19, 3, 253-277.

GERRITSE, R.G., 1977. Phosphorus compounds in pig slurry and their retention in the soil. In: Utilisation of manure by land spreading, p 257-267. Commission of the European Communities. Ed. J.H. Voorburg.

HAMAKER, Ph. en J. VAN BEUSEKOM, 1977. Onderzoek naar de water- en mineralenhuishouding op een glastuinbouwbedrijf. Nota 981, 52 pp. ICW, Wageningen.

HANDBOEK VOOR DE AKKERBOUW, 1973. Deel II: Technisch bedrijfsverband en bedrijfssynthese. Proefstation voor de Akkerbouw, Lelystad, 140 pp.

HENKENS, Ch.H., 1971. Bemesting en de kwaliteit van het oppervlaktewater. Stikstof 69, 6, 360-371.

- KOLENBRANDER, G.J., 1971. De eutrofiëring van oppervlaktewater door de landbouw en de stedelijke bevolking. *Stikstof* 69, 6, 384-395.
- 1977. Nitrogen in organic matter and fertilizer as a source of pollution. *Progr. Water Technol.* 8, 67-84 Pergamon Press.
- 1978. Persoonlijke communicatie.
- MINISTERIE VAN LANDBOUW EN VISSERIJ, 1974. Jaarstatistiek van de kunstmeststoffen, 1972/'73, 23 pp. Den Haag.
- OOSTEROM, H.P. en J.H.A.M. STEENVOORDEN, 1974. Chemische en fysische samenstelling van grond- en oppervlaktewater in enkele gebieden. *Nota* 810, 23 pp, ICW, Wageningen.
- RIJTEMA, P.E., 1978. Een benadering voor de stikstofemissie uit het graslandbedrijf. *Nota* 982, 35 pp, ICW, Wageningen.
- 1977. Waterkwaliteitsonderzoek. In: Aspecten van een twintigtal jaren cultuurtechnisch onderzoek. *Cultuurtech. Tijdschrift* 17/3, okt./nov.
- SLUIJSMANS, C.M.J. en G.J. KOLENBRANDER, 1976. De stikstofwerking van stal mest op korte en lange termijn. *Stikstof* 7, 83/84, 349-355.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1976. Nitrogen, phosphate and biocides as influenced by soil factors and agriculture. *Proc. and Inf. No. 21. Comm. Hydrol. Res. TNO*, 52-69. *Techn. Bull. ICW* 97.
- en G. VAN DAM, 1977. De chemische samenstelling van bodemvocht en grondwater in een aantal proefgebiedjes van Midden-Brabant. *Nota* 976, 18 pp, ICW, Wageningen.
- en H.P. OOSTEROM, 1977. De chemische samenstelling van het ondiepe grondwater bij rundveehouderijbedrijven. *ICW. Nota* 964, 22 pp.
- VRIES, O. DE en F. VAN DER PAAUW, 1937. De indringing van enige fosfaten in verschillende Nederlandse grondsoorten. *Versl. Landbouwk. Onderz. nr 43 A*, 44 pp.

