

Effecten van de landbouw op de waterkringlopen

Voordracht uit de 41ste vakantiecursus in drinkwatervoorziening, 'Effecten van milieuverontreinigingen op de waterkringloop', gehouden op 5 en 6 januari 1989 aan de TU Delft.

Inleiding

De huidige intensieve landbouw gaat gepaard met een aanzienlijk verlies aan plantevoedingsstoffen en pesticiden naar bodem, oppervlaktewater, grondwater en lucht.

Sinds 1980 is er een sterke uitbreiding van de literatuur op het gebied van grondwatervervuiling door de landbouw (afb. 1).

Ook de afdeling speurwerk van KIWA heeft aan dit onderzoek al veel publikaties gewijd. De heer Van Beek heeft met medewerkers een regelmatige stroom



IR. P. A. VAN DER WERF
Universitair Docent,
Landbouwniversiteit
Wageningen,
afdeling Alternatieve Landbouw

zorgwekkende mededelingen in het vakblad *H₂O* gepubliceerd en ook in de KIWA-publikaties 'Landbouw en drinkwatervoorziening' [Van Beek, 1987]; 'Nitraat en drinkwatervoorziening' [Van Beek et al, 1984].

Een andere, volledige en overzichtelijke samenvatting van de problematiek is gepubliceerd door de Vereniging Milieudefensie [Van Geleuken et al, 1988]. Recent is nog extra aandacht besteed [Van Beek, 1988] aan bestrijdingsmiddelen in grondwater. Door industriële lozingen en weglekkend bluswater wordt ook pijnlijk duidelijk dat naast de directe verliezen in de landbouwpraktijk ook de indirecte verliezen die optreden bij productie, opslag en transport van meststoffen en pesticiden op rekening van de landbouw bijgeschreven dienen te worden. Uit de stortvloed aan literatuur blijkt dat van de bestrijdingsmiddelen die in grondwater gevonden worden grondontsmettingsmiddelen en onkruidbestrijdingsmiddelen het belangrijkste zijn. In vele andere landen ligt de situatie vrijwel gelijk.

In de Verenigde Staten is door Jackson *et al* [1987] een rapport geschreven dat beperking van de grondwaterbelasting door zowel bemesting als pesticidengebruik behandelt.

Het Duitse ministerie voor voeding, landbouw en bosbouw heeft een uitgebreid onderzoek laten doen door een team van onderzoekers, onder coördinatie van de heer Finck [1987a; 1987b], naar mogelijkheden voor vermindering van grondwaterbelasting met nitraat door de landbouw.

Samenvatting

De huidige landbouw gaat gepaard met een aanzienlijk verlies aan plantevoedingsstoffen en pesticiden naar het milieu.

Naast de directe verliezen dienen ook de verliezen die optreden bij productie en transport van meststoffen en pesticiden op rekening van de landbouw geschreven te worden. Een aanzienlijk deel van de milieuschade door de landbouw is te wijten aan een inefficiënt gebruik van aangevoerde stoffen om de opbrengsten te maximaliseren. Binnen de randvoorwaarden van de conventionele landbouw kan het pesticidengebruik met meer dan 50% worden beperkt. Dit wordt in de 'geïntegreerde' landbouw nagestreefd. De uitspoeling van nitraat is echter meer afhankelijk van opbrengstniveau en bedrijfssysteem. Biologische gemengde produktiesystemen hebben een hogere stikstofefficiëntie, geen pesticidenverliezen en een nitraatgehalte van het oppervlakkige grondwater van minder dan 7 mg N/l. De bestaande ervaring met biologische landbouwmethoden toont aan dat deze binnen de normen en streefwaarden voor waterwingebieden kunnen functioneren.

Bemesting

Stikstof

De nitraatgehalten van ondiep grondwater liggen in Nederland onder bouwland meestal tussen de 20 en 100 mg NO₃-N per liter. In 1978 was de gemiddelde waarde in zandgronden onder bouwland 26 mg per liter [Van Duyvenbooden, 1979]. In 1986 waren de stikstofconcentraties op deze gronden opgelopen tot gemiddeld 63 mg N/l, terwijl op kleigronden onder bouwland gemiddeld 22 mg N/l werd gemeten. De hoge waarden komen vooral voor bij de teelt van snijmaïs die is bemest met drijfmest. De stikstofverliezen door uitspoeling van nitraat bedragen gemiddeld 65 kg N per ha in geheel Nederland (RIVM). De Haan [1986] heeft berekend dat, uitgaande van een vierjarige vruchtwisseling, bij een bemesting van 200 kg N per ha per jaar op zandgrond 85 kg N verloren gaat, overeenkomend met een gehalte van 28 mg N/l in het bovenste grondwater. Op kleigrond betreft het 40 kg N verlies per ha, 13 mg N/l. Ook onder grasland komt veel uitspoeling van nitraat voor. In de melkveehouderij is

de efficiëntie van het stikstofgebruik bij een input van 545 kg N/ha, waarvan 380 kg kunstmest-N, slechts ongeveer 16% [Van der Meer, 1986].

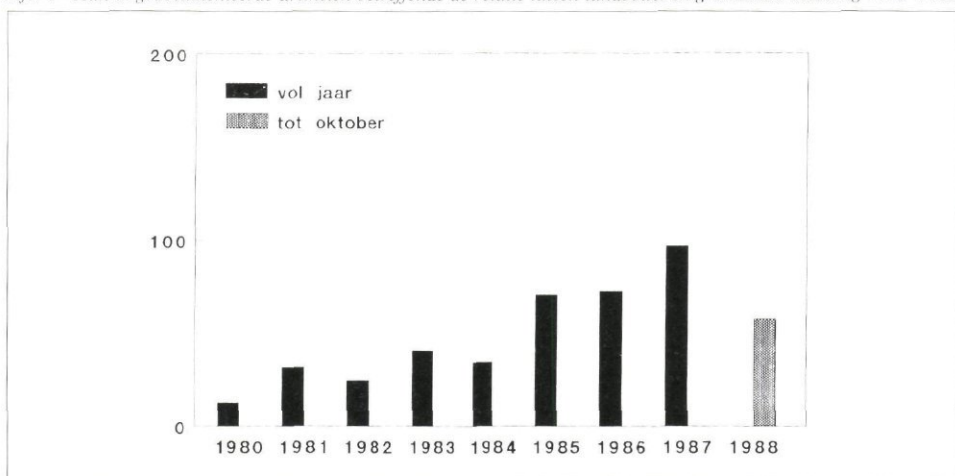
De stikstofoverlast in het bovenste grondwater stijgt snel bij stikstofgiften boven de 250-300 kg/ha tot boven de 25 mg N/liter [Finck, 1987a].

Deze cijfers geven aan dat de gemiddelde uitspoeling bij een gemiddeld stikstofgebruik in Nederland al ruimschoots boven de norm van 11,3 mg N/l water ligt, om nog maar te zwijgen van de streefwaarde van 5,6 mg N/l. Behalve nitraatuitspoeling gaat nog naar schatting 10-50% van de nitraat in de bodem na denitrificatie als stikstofgas de lucht in.

Fosfaat

Voor fosfaat zijn de cijfers ook sprekend. Hoewel in 1974 de uitspoeling van fosfaat nog voor onmogelijk werd gehouden, hebben we in de jaren tachtig gezien dat dit helaas een denkfout was. De Haan en medewerkers [1987] hebben berekend dat in 1980 400 ha landbouwgrond in Nederland fosfaatverzadigd is, dat wordt 11.000 ha in 2000 en 72.000 ha in 2050 bij

Afb. 1 - Aantal gedocumenteerde artikelen betreffende de relatie tussen landbouw en grondwaterbelasting 1980-1988.



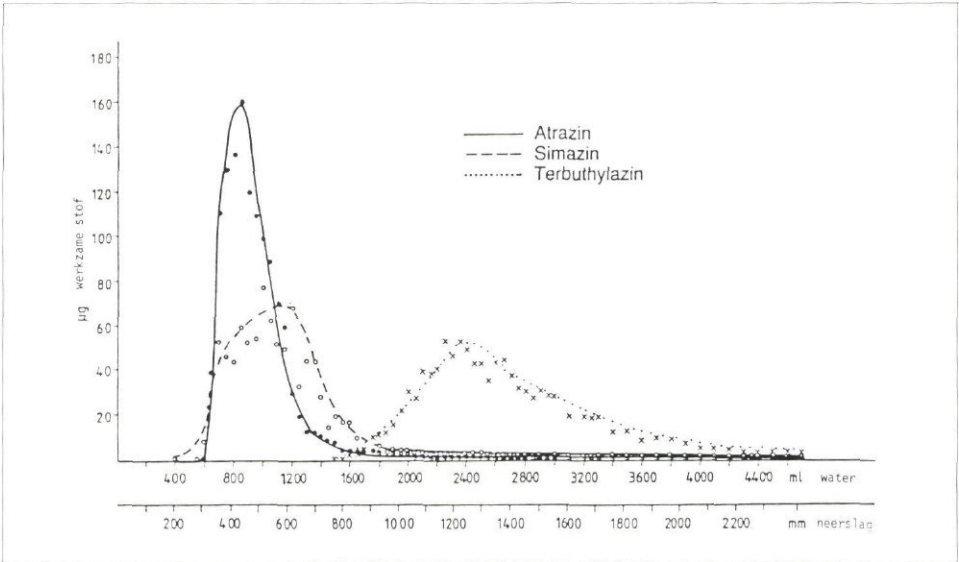
ongewijzigde emissies. Als alles op alles wordt gezet kan de verzadiging beperkt blijven tot 4.000 ha, maar dat is gezien de recente ontwikkelingen en het regelmatige uitstel van de effectuering van de mestmaatregelen niet waarschijnlijk. De fosfaataccumulatie in landbouwgrond bedraagt in Nederland 100 miljoen kg P, dat betekent 50 kg/ha landbouwgrond [CBS, 1988]. Dit betekent dat slechts een derde van de in de landbouw toegevoerde fosfaat effectief wordt opgenomen in het gewas.

Kali
Ook kali deelt mee in de overbesteding. De Maximaal toelaatbare concentratie MTC van 12 mg K/l wordt zeer regelmatig overschreden, in de provincie Utrecht met een factor 2 tot 3,5. [Van Geleuken, 1988]. De verzuring van de bodem draagt sterk bij aan de mobiliteit van kali in de bodem, zodat we de emissie van ammoniak in de lucht zullen terugvinden als uitspoeling van kali in het grondwater.

Sulfaat
In een aantal gebieden stijgt ook het sulfaatgehalte van het grondwater boven de streefwaarde van 25 mg SO₄/l. Dit is onder andere te wijten aan de toenemende nitraatbelasting en de vervolgens optredende denitrificatie en oxydatie van pyriet. De inwerkverplichting van dierlijke mest zal leiden tot een toename van de denitrificatie en daarmee in vele bodems ook tot een extra sulfaatbelasting. Denitrificatie van 25 mg/m³ nitraatstikstof geeft bij aanwezigheid van pyriet 150 g/m³ sulfaat [Steenvoorden, 1988].

Zware metalen: koper en cadmium
Van de zware metalen wil ik alleen koper en cadmium noemen, omdat die direct aan de bemesting gerelateerd zijn. In varkensmest zit nog steeds koper door de koperadditieven aan varkensvoer. De Haan [1987] heeft herhaaldelijk betoogd dat alleen een totaal verbod op deze kopertoefvoeging effect zal hebben; de kopergehalten in het grondwater nemen toe, ook onder invloed van de verzuring. Vooralnog wordt de norm van 1 mg/l water gelukkig slechts incidenteel overschreden, maar een toename ligt in de lijn der verwachting.

Cadmium wordt zeer sterk aan de bodem gebonden, en met name aan organische stof. Door de voortdurende verlaging van de organische-stofgehalten in de bodem en door de verzuring treedt een geleidelijke verhoging van de cadmium-



Afb. 2 - Uitspoeling van atrazin, simazin en terbutylazin uit een bodemkolom van 50 cm dikte [Meinert, 1988].

TABEL 1 - Enkele ziekten in akkerbouwgewassen die worden versterkt door een krappe vruchtwisseling, naar Klingauf [1988], Van der Wal [1986] en Van Rijn [1987].

granen	havercysteaaltje, oogvlekkenziekte, steenbrand
maïs	maïswortelknobbelaaltje, builenbrand
kruisbloemigen	knolvoet, zwartbenigheid (spruitkool), sclerotienrot
suikerbieten	bietecysteaaltje
aardappels	sclerotienrot, lakschurft, noordelijk wortelknobbelaaltje, verwelkingsziekte
erwten	fusarium (vaatziekte), vlekkenziekte
klavers	stengelaaltje, klaverkanker, klavercysteaaltje

belasting van het grondwater op. De norm van 0,005 mg/l wordt voornamelijk zelden overschreden. De aanvoer van cadmium met fosfaatkunstmest bedraagt 30% van de totale belasting van de bodem [Copius Pereboom, 1986]. Dit is gemakkelijk aan de bron te zuiveren, als de meststoffenindustrie daar door wetgeving toe aangezet wordt.

Organische verontreinigingen
Naast mogelijke emissies van microbiologische aard, met name colibacteriën, treden ook organische verontreinigingen op door pesticiden of hun afbraakproducten. Te noemen vallen Dichloorpropan als restant van grondontsmetting met DD, trichloorpropan als residu van het herbicide trichloorazijnzuur [KIWA, 1986].

Bestrijdingsmiddelen
Van Beek *et al* [1988] hebben een inventarisatie gegeven van bestrijdingsmiddelen die in grondwater zijn aangetroffen tot nu toe. Het betreft vrijwel allemaal herbiciden en grondontsmettingsmiddelen die een brede werking hebben op aaltjes, insecten, en op allerlei nuttige bodemdieren zoals regenwormen. Het gebruik van deze middelen is voor een groot deel noodzakelijk vanwege de zeer korte vruchtwisseling die in de akkerbouw wordt toegepast. Klingauf [1988] en

Van der Wal [1986] geven aan dat er een aantal belangrijke ziekten en plagen door een beperkte vruchtwisseling worden versterkt (tabel I). Het bietecysteaaltje en het aardappelcysteaaltje behoren beide tot deze groep. Een zeer groot deel van de grondontsmetting wordt uitgevoerd tegen deze plagen.

Opmerkelijk is de ontwikkeling van herbiciden die geschikt worden geacht voor waterwingebieden. In Duitsland wordt Terbutylazin aanbevolen in de maïssteelt in waterwingebieden. De halfwaardetijd is 80 dagen, vergeleken met 60 dagen voor atrazin. De binding aan de bodem is sterker en de oplosbaarheid geringer dan die van atrazin. Het gevolg is dat er 2.400 mm water nodig is om het door een bodemkolom van 50 cm te transporteren, terwijl dit voor atrazin ongeveer 1.000 mm water kost (zie afb. 2). Het resultaat is dat de effecten van grondwatervervuiling van terbutylazin tot drie maal zo lang kunnen duren als die van atrazin. Een milieu-tijdbom dus veeleer dan een verbetering. Dit middel is in combinatie met terbutryn in Nederland toegelaten in waterwingebieden [Van Rijn, 1987].

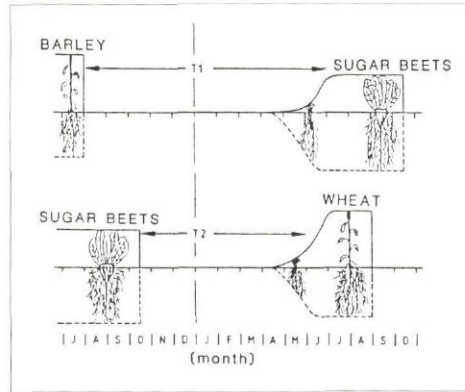
Grondwaterpeilverlaging
Een verlaging van de grondwaterstand ten

behoefte van de landbouw heeft een groot effect op de aanvulling van grondwater. Zeer veel water wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater waardoor de aanvulling van het grondwater achterblijft bij de onttrekking voor drinkwater en beregeningswater. Dit wordt nog versterkt door de verlaging van het organische-stofgehalte in landbouwgronden. Het vocht-houdend vermogen neemt hierdoor af zodat veel eerder tot beregening van gewassen moet worden overgegaan. Hierdoor wordt het gebruik van ondiep grondwater voor beregening vergroot.

Een tweede proces in dit verband is de overwegend oppervlakkige drijf- en kunstmestbemesting met fosfaat. Plantewortels hebben sterk de neiging naar fosfaat toe te groeien [De Willigen & Van Noordwijk, 1987]. Bij een oppervlakkige fosfaatbemesting blijven de wortels in de bovengrond en er treedt eerder vochtgebrek op door het gebrek aan diepe wortels. Dit is bijzonder goed waar te nemen bij tuinbouwgewassen die in perspotten met ruime fosfaatvoorziening zijn opgekweekt.

De mogelijkheden van aanpassing van teeltmaatregelen in de landbouw
Op allerlei plaatsen komen aanbevelingen naar voren voor een vermindering van de belasting van het grondwater door aangepaste teeltmaatregelen. In het voor-gaande zijn er al een aantal genoemd. De meeste van de nu volgende aan-bevelingen worden in de biologische landbouw reeds in praktijk gebracht, niet alleen uit directe milieuhygiënische over-wegingen, maar ook omdat ze bijdragen aan recycling van voedingsstoffen en versterking van het produktiesysteem. Het zijn vooral maatregelen die thuis-horen onder de term 'good housekeeping' [Hommes, 1989] en die geen structureel ander produktiesysteem vereisen.

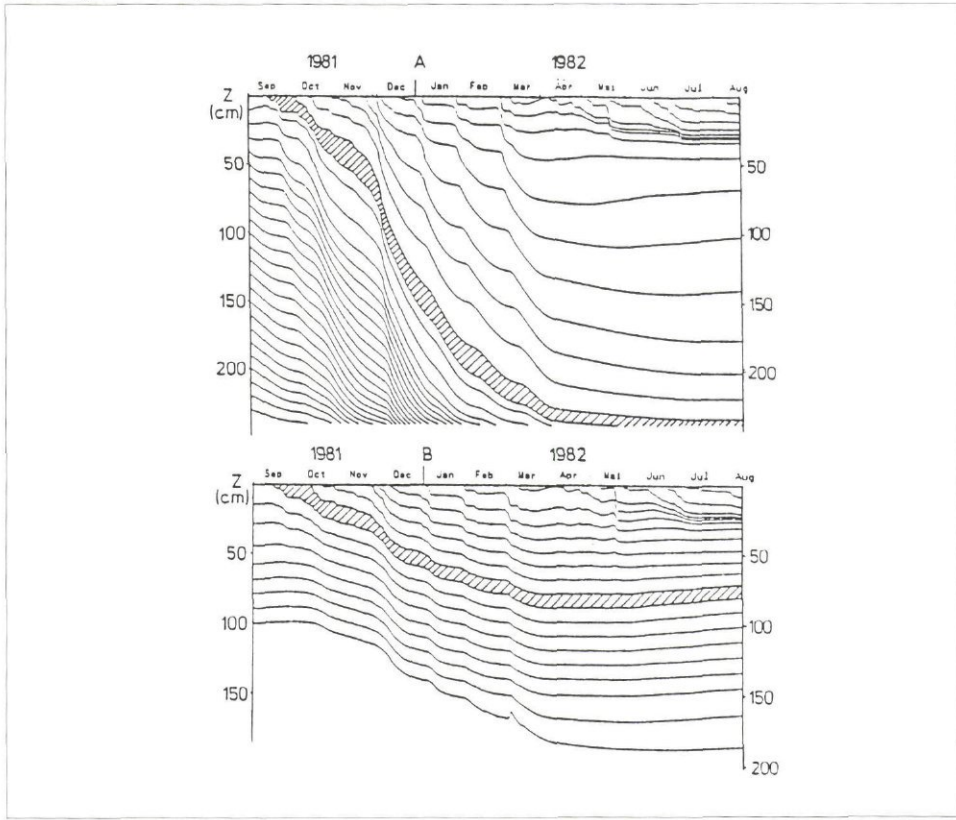
Afb. 3 - De nitraatuitspoelingsperiode tussen de oogst van de voorvrucht en de groeiperiode van het volggewas [Duynisveld *et al*, 1988].



1. Optimalisering van de stikstof-bemesting door betere afstemming op de gewasbehoefte en berekening van de te verwachten mineralisatie van organische stof, en rekening houden met de de-positie van minstens 40 kg N/ha/jaar. [Büchner, 1987 en Vereijken *et al*, 1988a].
2. Gebruik van catch-crops als onderzaai of stoppelgewassen die in nazomer en herfst vrijkomende stikstof kunnen opnemen. Dit kan bij gewassen als blad-ramenas en gele mosterd leiden tot een opname van 50-150 kg N/ha, mits tijdig gezaaid [Hotsma, 1988]. Volgens Finck [1987] neemt bladramenas tot 75% van de beschikbare stikstof op, en is dit gewas als stoppelgewas een rendabele teelt door de besparing op stikstof en de betere ontwikkeling van het volggewas. Als onder wintertarwe gezaaide catchcrop voldoet Italiaans raaigras goed op kleigrond.
3. Onderploegen van gewasresten of groenbemesters als de bodemtemperatuur beneden de 10 °C ligt, dat betekent in de praktijk niet voor half november. Dit heeft tot gevolg dat, zeker met inachtneming van een periode van 3 weken voor het afsterven van de groenbemester, de mineralisatie van de jonge organische stof in de winter gering zal zijn.
4. Verkorten van de braakperiode tussen twee gewassen door de vruchtwisseling of

- zaaitijden aan te passen (zie afb. 3) [Duynisveld *et al*, 1988].
5. Toepassen van bemesting op een moment dat er geen gevaar meer is voor uitspoeling [Steenvoorden 1988]. Hierbij moet rekening worden gehouden met de migratie van nitraat buiten bereik van de wortels. Duynisveld *et al* [1988] hebben hier waardevolle bijdragen geleverd door voor loess en zandbodems in Duitsland tijd-diepte curves aan te geven (zie afb. 4).
6. Afvoeren van gewasresten van het laatste gewas, met name in de tuinbouw en bij suikerbieten en aardappels [Meeuwissen *et al*, 1988]. Op zandgronden kan dit het verlies van N, P en K drastisch verlagen.
7. Beregening niet meer toepassen later in het seizoen. Daardoor wordt het vocht-bergend vermogen kleiner en zal bij neerslagoverschot in oktober eerder uitspoeling optreden [Finck *et al*, 1987a].
8. Algemene verlaging van de be-mestingsniveau's om tot een hogere efficiëntie van de meststoffen te komen en tot een verlaging van de nutriënten-verliezen [Nauta *et al*, 1986; Vereijken *et al*, 1988a; Darimont *et al*, 1985].
9. Verbreding van de vruchtwisseling, waardoor het optreden van een aantal ziekten en plagen op schadelijk niveau wordt voorkomen. Dit geldt met name voor aardappelen, suikerbieten en

Afb. 4 - Invloed van bodemtextuur op nitraatuitspoeling: Tijddiepte curves. Boven zandgrond, onder loessgrond, beide met grondwater op 240 cm en voorvrucht wintertarwe [Duynisveld *et al*, 1988].



sniijmaïs. Hierdoor wordt de ontwikkeling van probleemonkruiden en van bodem-ziekten tegengegaan [Vereijken *et al*, 1988b].

10. Verhoging van het organische-stof-gehalte door gebruik van dierlijke mest met een hoog C/N quotiënt (>15 minimaal) en veelvuldige toepassing van groenbemesters [Janssen *et al*, 1986; Arden-Clarke *et al*, 1988].

11. Toepassen van strobemesting leidt tot 20% reductie van de nitraatuitspoeling. Dit geeft een sterke immobilisatie, de stikstof komt ook in het komende seizoen maar voor een klein deel beschikbaar. Het verhoogt het organische stofgehalte in de bodem [Finck *et al*, 1987a+b].

12. De teelt van vlinderbloemigen als hoofdgewas laten volgen door een stoppelgewas of een wintergraan, zodat de extra uitspoeling van door vlinderbloemigen gebonden luchtstikstof wordt voorkomen.

Wat kunnen geïntegreerde en alternatieve landbouw in de praktijk betekenen?

De geïntegreerde akkerbouw, zoals op het proefbedrijf OBS van het PAGV in Nagele wordt uitgevoerd, heeft enkele opvallende resultaten. Ondanks een korte vruchtwisseling van 4 jaar voor aardappels en suikerbieten, is het gebruik van pesticiden drastisch verminderd (tabel II). Als belangrijke overwegingen bij de teelt gelden daar dat er niet wordt gestreefd naar een maximale opbrengst, maar naar een optimaal saldo en een vermindering van de milieubelasting. In de praktijk blijkt het geïntegreerde bedrijf inderdaad een iets hoger saldo te behalen bij 5-10% lagere opbrengsten dan het gangbare bedrijf met dezelfde vruchtwisseling. Dit is te begrijpen omdat bij een ruime stikstofbemesting de vegetatieve ontwikkeling van de plant versterkt wordt en tegelijk de gevoeligheid voor met name schimmelziekten wordt vergroot. Het streven naar een iets lagere opbrengst levert een flinke besparing op van fungiciden, vooral in de graanteelt.

Het achterwege laten van grondontsmetting met nematiciden is wellicht de opvallendste verbetering. Wat ook blijkt is dat de uitspoeling van niraatstikstof in het drainwater niet opvallend verlaagd is. Het gangbare bedrijf van de OBS ligt al relatief laag met zijn uitspoelingsverliezen, waaraan een denitrificatie van naar schatting 10% ook bijdraagt. Het geïntegreerde bedrijf ligt er echter maar weinig onder, in sommige jaren zelfs iets hoger. Het biologisch-dynamische bedrijf is een

Tabel II – Inzet van chemische bestrijdingsmiddelen (kg/ha werkzame stof) en de uitspoeling van stikstof in het gangbare (GA), geïntegreerde (GI) en biologisch-dynamische (BD) bedrijfssysteem op het OBS te Nagele (1985-1987) gegevens Spoorenberg *et al*. [1988], PAGV.

	GA	GI	BD
herbiciden	4,5	1,7	0
fungiciden	5,0	2,7	0
insecticiden	0,6	0,1	0
nematiciden (grondontsmetting)	42,5	0	0
groeiregulators	0,3	0,1	0
gemiddelde NO ₃ -N gehalte drainwater mg N/l	14,0	12,5	5,2

gemengd bedrijf. Het uitgangspunt bij een biologisch gemengd bedrijf is een verandering van het productieproces. De inputs in het systeem zijn vooral gericht op een versterking van het systeem, en pas secundair op verhoging van de output. Dit betekent vooral dat de ontwikkeling van de bodemstructuur en de duurzame bodemvruchtbaarheid wordt gestimuleerd, hetgeen op langere termijn tot een grotere systeemstabiliteit leidt [Vierhout *et al*, 1989]. Door de grotere systeemstabiliteit wordt het schadelijk optreden van ziekten en plagen sterk gereduceerd, zodanig dat kan worden afgezien van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen.

Dit bedrijf heeft melkkoeien en een 11-jarige vruchtwisseling met graasweide en maaibeide daarin opgenomen, naast akkerbouw en grove tuinbouw. De percelen onder grasland vertonen uitspoelingscijfers tussen 0,5 en 2,5 mg N/l, in de akkerbouw komen ook percelen voor met 15-20 mg N/l en het gemiddelde voor het hele bedrijf ligt nog iets onder de EEG streefwaarde van 5,6 mg N/l. Het opbrengstniveau ligt voor de hoofdgewassen tarwe, aardappels, suikerbieten gemiddeld op ongeveer 75% van de gangbare opbrengsten. De energie-efficiëntie ligt gelijk aan het gangbare bedrijf, hetgeen inhoudt dat het netto rendement niet afwijkt van gangbaar. Elders worden op biologische bedrijven rendementsverbeteringen van 20-30% gerealiseerd, uitgedrukt in termen van energie-efficiëntie [Nauta *et al*, 1986]. Voor andere biologische bedrijven in Flevoland zijn vergelijkbare uitspoelingscijfers gevonden tussen 3 en 7 mg N/l gemiddeld over de hele winter na diverse gewassen. Het betreft steeds bedrijven met een ruime vruchtwisseling van 5-10 jaar, een deel grasland of maaibeide met lucerne en een hoog aandeel granen in de vruchtwisseling. Dit betekent een positieve bijdrage aan het organische-stofgehalte van de bodem.

Een ervaring op al deze bedrijven is dat de lange en gevarieerde vruchtwisseling bijzonder positief werkt op de onkruidbezetting. Het maaien van een maaibeide gedurende twee seizoenen onderdrukt de wortelonkruiden, terwijl mechanische onkruidbestrijding en thermische bestrijding met een onkruidbrander de zaadonkruiden afdoende reguleren. Het gebruik van een loofbrander bewijst ook goede diensten in de aardappelteelt, zodat het loof niet meer met dinoseb hoeft te worden doodgespoten om aardappelziekte in de knol te voorkomen. Een ander opvallend verschijnsel op het biologisch-dynamische bedrijf op het OBS is de goede plaagonderdrukkende werking van biologische vijanden van insekteplagen. Dit geldt met name voor bladluizen die door zweefvliegjarven en lieveheersbeestjes worden opgegeten. Door het achterwege laten van insecticiden blijven de populaties van deze natuurlijke vijanden op een redelijk niveau.

Bemesting en bodemopbouw
Tot slot wil ik nog enkele belangrijke processen in de bodem betreffende nutriëntenvoorziening en structuurontwikkeling toelichten.

Over het algemeen wordt de term organische stof gebruikt voor alle organische bemesting, met de ondertoon dat alle organische bemesting zal bijdragen aan de organische-stofvoorziening van de bodem [Van Beek, 1988]. Dit hangt echter af van de verhouding tussen koolstof en stikstof in de organische stof. Bij een C/N verhouding van 33 wordt in theorie alle stikstof ingebouwd in biomassa van bodemorganismen en in stabiele humus. Een deel van de koolhydraten is nodig voor de energievoorziening en de basale levensbehoeften van de bodemorganismen. Drijfmest heeft echter een C/N quotiënt van ongeveer 8. Toediening aan de bodem leidt tot een versnelde afbraak van aanwezige oude organische stof, vooral 'kit'humus

[Mueller, 1982]. Het is te zien aan het grijze waas dat over snijmaïsakkers in de winter ligt, waar dat voorheen op de oude eerdgronden diepzwart was.

Alleen in combinatie met koolstofrijke producten zoals stro kan het organische stofgehalte van de bodem op peil blijven bij drijfmestbemesting. Het is duidelijk dat op drijfmest-percelen het stabiele humusgehalte daalt met alle negatieve gevolgen van dien voor de vochtthuishouding en de bufferende werking van de organische stof, hetgeen al hier en daar resulteert in een toenemende winderosie.

Een tweede aspect van belang is het onderscheid tussen de levende bodem en de dode bodem. Zolang voedingsstoffen zijn opgenomen in een levensproces spoelen ze niet uit. Met name stikstof vertrekt heel gemakkelijk als het uit de levensprocessen wordt vrijgemaakt. Dit is de achtergrond voor het maximaliseren van het toepassen van groenbemesters. Ze houden de stikstof in de levenscyclus en ze brengen vervolgens nog extra koolhydraten tot diep in de bodem. Hierdoor wordt de wortelontwikkeling van volg-gewassen verbeterd en de bodemmicro-organismen hebben meer voedsel ter beschikking, hetgeen weer bijdraagt aan de mobilisatie van plantevoedingsstoffen. Als nevenaspect treedt wellicht nog een iets sterkere denitrificatie op in de ondergrond door het verhoogde organische-stofgehalte.

Een algemeen probleem van het toepassen van zowel geïntegreerde als biologische landbouwmethoden is het hoge kennisniveau dat vereist is om op passende wijze met de beschreven processen te kunnen omgaan. Een voorbeeld is het afstemmen van een hele vruchtwisselingscyclus op de opeenvolging van stikstofvastlegging en stikstof-mineralisatie met inachtneming van de afhankelijkheid van vocht en bodemtemperatuur van deze processen.

Conclusie

Een aanzienlijk deel van de negatieve invloed van de landbouw op de waterkringlopen is te wijten aan een inefficiënt gebruik van aangevoerde stoffen met het oogmerk de opbrengsten te maximaliseren.

Binnen de randvoorwaarden van de conventionele landbouw kunen aanzienlijke beperkingen in het gebruik van deze stoffen worden bereikt. Dit wordt in de 'geïntegreerde' landbouw in praktijk gebracht met behoud van de geldelijke opbrengsten. Ondanks de aan-

zienlijke verbeteringen die de verdere ontwikkeling van geïntegreerde teeltsystemen kunnen bewerkten blijven er structurele problemen over bij de resterende pesticiden en de emissie van met name nitraat naar het grondwater. De bestaande ervaring met biologische landbouwmethoden geeft aan dat deze methoden niet alleen wat betreft pesticiden maar ook wat betreft grondwaterbelasting binnen de normen en streefwaarden voor waterwingebieden kunnen functioneren. Vervolgonderzoek naar de milieu-emissies van biologische bedrijven op zandgronden is noodzakelijk om de eventueel nog bestaande problemen op te sporen en verdere aanpassing van teeltmaatregelen te ontwikkelen. In principe is de kennis hiervoor aanwezig.

Referenties

- Arden-Clarke, C. and Hodges, R. D. (1988). *The environmental effects of conventional and organic/biological farming systems*. II. Soil ecology, soil fertility and nutrient cycles. *Biological Agriculture and Horticulture*, (5) nr. 3, pag. 223-287.
- Beek, C. G. E. M. van (1988). *Chemische informatie nodig voor de voorspelling van de te onttrekken grondwaterkwaliteit in landbouwgebieden*. H₂O (21) 1988, nr. 5, pag. 119-122.
- Beek, C. G. E. M. van (ed) (1987). *Landbouw en drinkwatervoorziening*. KIWA mededeling nr. 99.
- Beek, C. G. E. M. van, Kooij, D. van der, Noordam, P. C. en Schippers, J. C. (1984). *Nitraat en drinkwatervoorziening*. KIWA mededeling nr. 84.
- Beek, C. G. E. M. van, Janssen, H. M. J. en Puijker, L. M. (1988). *Bestrijdingsmiddelen in grondwater*. H₂O (21) 1988, nr. 4, pag. 80-85.
- Buchner, W. (1987). *Landbauliche Massnahmen zur Verringerung des Nitrataustrages*. In: Reinken, G. (ed). *Leitfaden zur Verminderung des Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Böden*. Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn. Heft 58, pag. 23-31.
- CBS. (1988). *Kwartaalbericht milieustatistiek*, no. 4.
- Copius Peereboom, J. W. en Reijnders, L. (1986). *Hoe gevaarlijk zijn milieugevaarlijke stoffen?*
- Darimont, T., Lahl, U und Zeschmar, B. (1985). *Landwirtschaft und Grundwasserschutz - Massnahmenkatalog zur Verringerung der Nitratbelastung*. Wasserwirtschaft (75) nr. 3, pag. 106-110.
- Duyvenbooden, W. van (1979). *Onderzoek naar de kwaliteit van het grondwater*. In: Jaarverslag 1978 van het Rijksinstituut voor de drinkwatervoorziening.
- Duynisveld, W. H. M., Sirebel, O. and Böttcher, J. (1988). *Are nitrate leaching from arable land and nitrate pollution of groundwater avoidable?* *Ecological Bulletins* (39), pag. 116-125.
- Finck, H. F. und Haase, K. (1987a). *Nitratbelastung des Grundwassers, ökonomische Beurteilung von Alternativen*. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. nr. 347.
- Finck, H. F. und Haase, K. (1987b). *Nitratbelastung des Grundwassers, Kurzfassungen*. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. nr. 350.
- Geleuken, B. van en Kniest, J. (1988). *Vereuiling onderweg, landbouw en grondwater*. Rapport Vereniging Milieudefensie, Amsterdam.
- Haan, F. A. M. de (1987). *Bodemverontreiniging door bemesting*. In: Landbouw en milieu: verslag van een studiedag van CRMH, 30 oktober 1986, 29-39.

- Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Homes, R. W. (1989). *Beheersing in onzekerheid: gedrag van consument en producent*. 4le vakantiecursus in drinkwatervoorziening, Delft.
- Hotsma, P. H. (1988). *Kunnen groenbemestingsgewassen de nitraatuitspoeling verminderen?* *Ad Fundum* (6), maart 1988, 1-15.
- Jackson, G.; Keeney, D.; Curwen, D. and Webendorfer, B. (1987). *Agricultural management practices to minimize groundwater contamination*. University of Wisconsin-Extension. 115 p.
- Janssen, B. H. en Reuler, H. van (1986). *Het effect van toediening van organisch materiaal aan de grond*. In: Themadag 'Organische stof in de akkerbouw', themaboekje nr. 7, 7-19. PAGV, Lelystad.
- KIWA (1986). *Organische stoffen in grondwater*. KIWA Rapport nr. 97.
- Klingauf, F. A. (1988). *Are feasible methods for an ecological pest control in view?* *Ecological Bulletins* vol. 39, 74-81.
- Langeweg, F. (1988). *Zorgen voor Morgen: nationale milieuverkenning 1985-2010*. Bilthoven, RIVM.
- Mecuwissen, P.; Boeringa, R. en Werff, P. A. van der (1988). *Fosfaatnormering, mineraalbalansen en milieubelasting in de (biologische) vollegrondsgroenteteelt*. NRI/O rapport nr. 88/10. NRI/O, 's-Gravenhage.
- Meinert, G. (1988). *Unkrautbekämpfung im Mais in Wasserschutzgebieten*. Mais 1988, nr. 2, 35-37.
- Meer, H. G. van der (1987). *Mogelijkheden voor verbetering van de benutting van stikstof op grasland*. Jaarverslag 1986 Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen, 34-41.
- Mueller, W. (1982). *Nährstoffaustrag aus Weinbergsboden der Mittelmosel unter besonderer Berücksichtigung der Nitrate*. Inaugural Dissertation, Rheinische Friedr. Wilhelm Universität, Bonn.
- Nauta, R. S. en Werff, P. A. van der (1986). *Intensivering landbouw niet altijd voordeliger*. Landbouwkundig tijdschrift (98) nr. 12, 27-30.
- Rijn, J. F. A. T. van (ed). (1987). *Gewasbeschermingsgids, Handboek voor de bestrijding van ziekten, plagen en onkruiden etc.* CAD Gewasbescherming/Plantenziektkundige Dienst. Wageningen.
- Spoorenberg, P. M. en Wijnands, F. G. (1988). *Praktijkonderzoek naar integratie van technieken en methoden van gewasbescherming ter vermindering van het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen*. Gewasbescherming (19) nr. 6, 216-217.
- Steenvoorden, J. H. A. M. (1988). *Vermindering stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater*. ICW nota nr. 1849. ICW, Wageningen.
- Vereijken, P. H. en Meer, H. B. van der (1988a). *Geïntegreerde bemesting: onbekend maakt onbemind?* Landbouwkundig Tijdschrift (100) nr. 6/7, 29-32.
- Vierhout, T. and Werff, P. A. van der (1989). *Biological agriculture, an appropriate way of farming*. In: W. Riedijk (ed). *Appropriate technology in industrialized countries*. Delft University Press pag. 175-191.
- Wal, D. van der (1986). *De gewasbescherming in de akkerbouw in 1985*. Gewasbescherming (17) nr. 3, 55-63.
- Weijden, W. J. van der (1981). *Vraagtekens bij de grondontsmetting in de aardappelteelt*. Landbouwkundig Tijdschrift (93) nr. 8, 205-211.
- Willigen, P. de and Noordwijk, M. van (1987). *Roots, plant production and nutrient use efficiency*. PhD thesis Agricultural University Wageningen.

