FACTSHEET TOEPASSEN VAN MESTSTOFFEN EN BESTRIJDINGSMIDDELEN

OMSCHRIJVING ACTIVITEIT

Het gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen in de landbouw is één van de bovengrondse activiteiten met de grootste impact op de ondergrond en het grondwater. Dit werd al in de jaren 80 van de vorige eeuw erkend en sinds 1985 zijn richtlijnen opgesteld om de emissies van de landbouw naar de ondergrond te beperken. In Nederland werd in 1985 de Mestwet van kracht en bestaat toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen zoals vastgelegd in de Bestrijdingsmiddelenwet uit 1962. In EU verband wordt het gebruik van meststoffen gereguleerd via de EU Nitraatrichtlijn (EU 2000) die in Nederland via nitraat-actieprogramma's wordt geïmplementeerd. Voor bestrijdingsmiddelen is het toelatingsbeleid geregeld via 2 Directives (EU91/414/EEC1 en EU98/8/EC). Sinds 2000 en 2006 zijn ook de EU Kaderrichtlijn Water en Grondwaterrichtlijn wettelijke kaders voor de monitoring en aanpak van de uitspoeling van landbouwstoffen naar grond- en oppervlaktewater. De KRW dochterrichtlijn Prioritaire Stoffen reguleert het gebruik van een groot aantal bestrijdingsmiddelen en is gericht op uitbanning van gevaarlijke stoffen en reductie van de overige prioritaire stoffen.

Nutriënten

Toepassen van meststoffen en uitspoeling van ongebruikte nutriënten beïnvloeden niet alleen de grondwaterkwaliteit door toename van de concentraties van nutriënten N, P en K, maar ook doordat de totale concentraties opgeloste stof toenemen, waaronder kationen als Ca en Mg. Daarnaast treden er bij het verplaatsen van dit bemeste water nevenreacties op met mineralen en organische stof in de ondergrond. Dat leidt in bepaalde gebieden tot verhoogde concentraties metalen, arseen en sulfaat en tot een grotere hardheid. Netto resultaat is dat de grondwaterkwaliteit in bemeste gebieden wezenlijk is veranderd ten opzichte van een 'natuurlijke' kwaliteit en wezenlijk verschilt van grondwaterkwaliteit in bos- en natuurgebieden. Sinds 1985 is een aanzienlijke reductie van meststoffen bereikt in zowel grond- als oppervlaktewater (ref Evaluatie meststoffenwet Willems et al. 2012) maar wordt in grondwater nog niet voldaan aan de normen van de nitraatrichtlijn(Baumann et al. 2012)

Bestrijdingsmiddelen en diergeneesmiddelen

De toepassing van bestrijdingsmiddelen beïnvloedt niet zozeer de macrochemie van het grondwater. Afhankelijk van de stofeigenschappen wordt de mobiliteit van een middel bepaald door sorptie aan organische stof en door afbraak in een oxiderend of juist reducerend milieu. Van de EU lijst met prioritaire stoffen is in Nederland alleen isoproturon nog toegelaten en is de toelating van de andere middelen beëindigd. In deze factsheet worden bestrijdingsmiddelen beschreven voor zover gebruikt in de landbouwpraktijk. Ook op andere manier kunnen bestrijdingsmiddelen in het grondwater komen, bijvoorbeeld door gebruik in stedelijke omgeving en door infiltratie van oppervlaktewater. Deze aspecten worden in aparte factsheets beschreven.

EIGENSCHAPPEN: RUIMTELIJKE EN TEMPORELE IMPACT

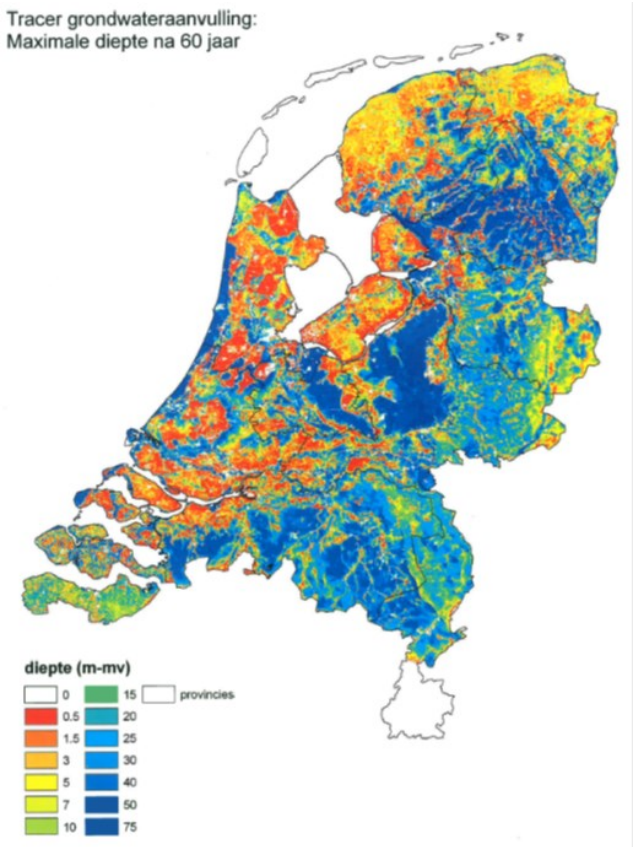
Uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen heeft een grote impact door het grote ruimtebeslag van landbouwgrond in Nederland, maar ook door de lange periode waarin de intensieve landbouw een groot nutriëntenoverschot had (periode 1960-heden).

[1] Vervangen door Regulation 1107

Tabel 1 ruimtelijke en temporele impact van de activiteit

Ruimtegebruik verticaal (m)	0-5	5-20	20-50	50-100	100-250	>250
Ruimtegebruik horizontaal (km2)	<1	1-5	5-50	50-500	500-1000	>10.000
Tijdsduur activiteit	0-5	5-15	15-50	50-150	150-1500	>1500
Tijdsduur herstel	0-5	5-15	15-50	50-150	150-1500	>1500
Aspecten	chemisch		fysisch		biologisch	

De ruimtelijke beïnvloeding van het grondwater op regionale schaal is sterk afhankelijk van de geohydrologische situatie. De diepte tot waarop het in de afgelopen 60 jaar geïnfiltreerde water in de Nederlandse ondergrond is doorgedrongen is weergegeven in Figuur 1. Met name in infiltratiegebieden op de hoge zandgronden kan de ondergrond tot 50 meter diepte zijn beïnvloed door meststoffen.



Figuur 1: potentiële doordringingsdiepte van diffuse verontreinigingen uit de laatste 60 jaar op basis van NHI (vd Grift 2013). VoorZuid-Limburg zijn geen NHI berekeningen beschikbaar.

Vermindering van de uitspoeling van meststoffen heeft inmiddels geleid tot een verbetering van de kwaliteit van het infiltrerende grondwater en een zogenaamde trend reversal in het kader van de Grondwaterrichtlijn is inmiddels aangetoond (Visser et al. 2007, Baumann et al. 2012). Het verontreinigingsfront zakt nog wel steeds dieper weg en er zijn waterwinningen waar de concentraties van stoffen dientengevolge nog stijgen (zie bijv. Broers et al. 2012, Baumann et al. 2012). Ook neemt de voorraad onbeïnvloed grondwater nog altijd af, doordat er nog steeds uitspoeling plaatsvindt, zij het in mindere mate dan in het verleden. De oppervlaktewaterkwaliteit van beken en riviertjes ondervindt ook de nadelen van de uitspoeling van met name ondiep grondwater.

De snelheid waarmee het ontvangende oppervlaktewater herstelt is afhankelijk van de snelheid van reductie van uitspoeling, van de reistijdverdeling van het water en van de reactiecapaciteit van de ondergrond. Doordat veel Nederlandse oppervlaktewater voor een groot deel wordt gevoed door heel jong grondwater via drainagebuizen en korte stroombanen is toch al snel sprake van herstel van de kwaliteit van ontvangend oppervlaktewater (Klein et al. 2012, Bolt et al. 2012).

Tabel 2: Relatie tussen de activiteit en de 11 onderscheiden ecosysteemdiensten van de ondergrond. Kolom A: maakt de activiteit gebruik van de ESD; J(a) of N(ee). Beïnvloedt de activiteit de ESD negatief (-), positief (+) of niet wezenlijk (o).

ESD	gebruik	beïnvloeding
1 - Beschikbaarheid van voldoende water met bepaalde kwaliteit	N	-
2 - Energie	N	o
3 - Reinigend vermogen van de ondergrond	J	-
4 - Draagvermogen van de ondergrond	J	o
5 - Bergingscapaciteit	N	o
6 - Biochemische cycli	J	-
7 - Temperatuursregulatie	N	o
8 - Voorzien watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater	N	-
9 - Voeding van grondwaterafhankelijke natuur	N	-
10 - Cultuurhistorische waarden	N	o
11 - Biodiversiteit	N	-

ECOSYSTEEMDIENSTEN DIE GEBRUIKT WORDEN

De activiteit toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen maakt gebruik van drie ecosysteemdiensten van de ondergrond (Tabel 2):
3. Reinigend vermogen van de ondergrond
4. Draagvermogen van de ondergrond
6. Biogeochemische cycli

Ad 3. De impact van meststoffen en bestrijdingsmiddelen op grondwater en oppervlaktewater wordt gedeeltelijk beperkt door reacties in de ondergrond, die hier worden samengevat als reinigend vermogen van de ondergrond. Al in de onverzadigde zone wordt bijvoorbeeld veel nitraat omgezet naar stikstofgas door denitrificatie met in de bodem beschikbaar organisch materiaal. Ook dieper in het grondwater vinden dit soort processen plaats; omzetting van nitraat bij aanwezigheid van pyriet en organische stof naar stikstofgas (Broers et al. 2009, Zhang et al. 2009,2012), omzetting van sulfaat naar sulfide bij sulfaatreductie, vastleggen van fosfaat aan ijzeroxiden, kationuitwisseling van kalium etc. Ten gevolge hiervan is dieper grondwater in Nederland vaak nitraatvrij, terwijl nitraat in andere gebieden met minder reactiecapaciteit nauwelijks wordt afgebroken en ongestoord verder reist. Voorbeelden daarvan zijn te vinden in de Zuid-Limburgse mergelplateaus (Hendrix & Meinardi 2004) en in de belangrijkste aquifers in de VS (Tesoriero et al. 2011). Hoewel nitraatvrij is landbouw-beïnvloed water meestal nog wel herkenbaar door een grotere concentratie opgeloste stof, waaronder hardheid.

Het reinigend vermogen van de ondergrond kan overigens ook tot ongewenste nevenreacties leiden; omzetting van nitraat met pyriet leidt bijvoorbeeld tot toename van sulfaat, vaak tot een verdere toename van hardheid en ook vaak tot toename van metalen en arseen die uit pyriet worden vrijgemaakt (Zhang, 2009). Dit leidde bij waterwinningen tot zuiveringsproblemen en de sluiting van winningen (Mendizabal 2011).

Voor bestrijdingsmiddelen geldt dat adsorptie en afbraak in de ondergrond de concentraties verminderen. Of en in welke mate dat gebeurt, is sterk stofafhankelijk. Van stoffen als bentazon, atrazin, MCPA en bijv. ook ETU is

bekend dat ze in grondwater mobiel kunnen blijven en via de grondwaterroute in oppervlaktewater en in winningen terecht kunnen komen en ook daadwerkelijk komen (Wuijts et al,, 2013).

Ad 4. De activiteit maakt indirect ook gebruik van ESD 4 (draagvermogen van de ondergrond) bij het uitrijden van mest en het sproeien van gewasbeschermingsmiddelen. Hier is een relatie met de activiteit 'Peilbeheer'.
Ad 6. Op grotere schaal levert de ondergrond via redoxprocessen, adsorptie en neerslagreacties een regulerende functie bij het transport van stoffen richting rivieren, estuaria en zee (ESD 6). Juist in een intensief gedraineerd land als Nederland, met relatief korte transportroutes, wordt relatief weinig gebruik gemaakt van deze ecosysteemdienst.

EISEN VAN DE ACTIVITEIT AAN KWALITEIT EN KWANTITEIT VAN DE FYSIEKE OMGEVING

Deze bovengrondse activiteit stelt niet zozeer eisen aan de kwaliteit en kwantiteit van de ondergrond, behalve waar het gaat om de condities die mest uitrijden mogelijk maken, nl. voldoende draagkracht, ook onder natte condities. Verkrijgen van voldoende draagkracht op het wettelijk eerst toegestane moment van mest uitrijden (maand februari) maakt drainage in veel gebieden noodzakelijk (relatie met peilbeheer).

IMPACT VAN DE ACTIVITEIT OP ECOSYSTEEMDIENSTEN VAN ONDERGROND EN GRONDWATER; POSITIEF EN NEGATIEF

Het toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen heeft een negatieve invloed op de volgende 6 ecosysteemdiensten:
1. Beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit
3.Reinigend vermogen van de ondergrond
6 Biogeochemische cycli
8 Voorzien watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater
9. Voeding van grondwaterafhankelijke natuur
11. Biodiversiteit

Ad 1. De veranderingen in grondwaterkwaliteit die samenhangen met toepassen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen verminderen de beschikbaarheid van water met een bepaalde kwaliteit voor activiteiten die van deze dienst gebruik maken, waaronder met name de productie van water voor de drinkwatervoorziening en voor proceswater, maar soms ook voor bijvoorbeeld irrigatie met grondwater. Eén van de gevolgen hiervan is dat veel ondiepe winputten en zelfs hele winvelden zijn en worden gesloten (Mendizabal 2011) en dat drinkwaterwinningen naar diepere pakketten worden verplaatst, buiten de huidige omvang van het beïnvloede water (zoals weergegeven in Figuur 1). Sluiting van winputten is overigens meestal het indirecte gevolg van mestgebruik (nitraat, hardheid, metalen en arseen) en niet zozeer van bestrijdingsmiddelengebruik.
Ad 3. Ook beïnvloedt de activiteit het reinigend vermogen van de ondergrond negatief, in de zin dat ze reactiecapaciteit op gebruikt. In het algemeen is de reactiecapaciteit van de Nederlandse ondergrond groot, door het overvloedig voorkomen van organische stof en (ijzer)sulfiden. Uitputting van die reactiecapaciteit gaat langzaam, maar is in principe niet duurzaam (Aa et al. 2003). Voor meststoffen is deze negatieve impact veel groter dan voor bestrijdingsmiddelen, vanwege de veel lagere stof concentraties.
Ad 6. Toepassen van meststoffen beïnvloedt ook de biogeochemische cycli. Via de grondwaterroute op de heel lange termijn, maar via afstroming naar het oppervlaktewater op de kortere termijn. Ook processen in de onverzadigde zone, zoals denitrificatie van de grote N giften dragen bij aan het vrijkomen van broeikasgassen zoals lachgas.
Ad 8 en 9. De ondergrondse afstroming van meststoffen en bestrijdingsmiddelen naar grondwaterafhankelijke natuurgebieden en naar beken en rivieren heeft een negatieve invloed op deze terrestrische en aquatische

ecosystemen en leidt daar tot verruiging en vermindering van biodiversiteit. In Nederland is vooral de ondiepe afstroming via drainagebuizen en het dichte slotenstelsel daarbij een belangrijke transportroute (Rozemeijer et al. 2007, 2010).
Ad 11. Tenslotte hebben de grootschalige ruimtelijke effecten op de grondwaterkwaliteit naar verwachting negatieve effecten op de ecologie in het grondwatersysteem zelf, hier benoemd als de ESD biodiversiteit.

AFWEGINGEN TEN OPZICHTE VAN ANDERE ACTIVITEITEN DIE GRONDWATER EN DE ONDERGROND BENUTTEN

Afwegingen voor deze activiteit zijn met name nodig voor activiteiten die gebruik maken van de beschikbaarheid van water van goede kwaliteit, en dan met name activiteiten die hoge eisen stellen aan die kwaliteit zoals de publieke drinkwaterwinning, het gebruik voor proceswater en de onttrekking voor irrigatie van gewassen of gebruik in kassen.
Die afweging is in het verleden ook gemaakt en heeft geleid tot landelijke en EU regelgeving en actieprogramma's om de uitspoeling van stoffen uit de landbouw te reduceren.

Water dat eenmaal is beïnvloed door meststoffen en bestrijdingsmiddelen is niet meer geschikt om te reserveren als Strategische Grondwatervoorraad. In die zin sluiten die activiteiten elkaar uit; een dergelijke reservering is vooral relevant voor water met een grote ouderdom en hoge betrouwbaarheid. Figuur 1, die water van 60 jaar en jonger toont, geeft dus feitelijk aan waar die strategische grondwatervoorraden niet kunnen liggen (zie factsheet Strategische Grondwatervoorraden in prep.) Opgemerkt moet worden dat bij ongewijzigde uitspoeling ten opzichte van de huidige situatie de dikte van de laag met beïnvloed water gestaag groter zal worden omdat er netto nog steeds meer aanvoer is van stoffen dan afvoer via onttrekking en afwatering (Broers & Griffioen 2012).

Afwegingen zijn ook noodzakelijk ten opzichte van het 'bewaren van de biodiversiteit/habitat van de ondergrond', en het 'beheer van terrestrische en aquatische ecosystemen'. Afwegingen van de laatste soort vormen de kern van de EU Kaderrichtlijn Water en Grondwaterrichtllijn en de Richtlijn Prioritaire Stoffen. Ook de activiteit 'Recreatie' is daarbij van belang, bijvoorbeeld waar het gaat om sportvisserij of waterrecreatie die gebaat zijn bij schoon water en een goede visstand.

Toekomstige ontwikkelingen die nieuwe afwegingen noodzakelijk kunnen maken
Het terugdringen van de effecten van overmatig gebruik van nutriënten en bestrijdingsmiddelen maakt inmiddels deel uit van landelijk beleid. Eén van de neveneffecten van dat beleid is dat meststoffen via mestafvoercontracten verspreid worden over delen van het land waar de productie niet plaats vindt. Er zijn zowel uit oppervlaktewaterstudies (Leenders 2012) als grondwaterstudies (Broers et al. 2012) aanwijzingen dat dit tot stijgende concentraties leidt in delen van het watersysteem. Overigens worden die aanwijzingen niet bevestigd door metingen in het bovenste grondwater in het LMM (Boumans pers.med.).
Een ander aspect dat nieuwe afwegingen mogelijk noodzakelijk maakt is het veelvuldig gebruik van diergeneesmiddelen, dat weliswaar via convenanten wordt ingeperkt, maar door de grote veedichtheid nog steeds erg hoog is in vergelijking met andere EU lidstaten. Naar ons weten wordt grondwater nog niet systematisch onderzocht op het voorkomen van dergelijke stoffen, hoewel uit buitenlands onderzoek blijkt dat deze stoffen via uitspoeling wel degelijk grondwater kunnen bereiken (Watanabe 2010).

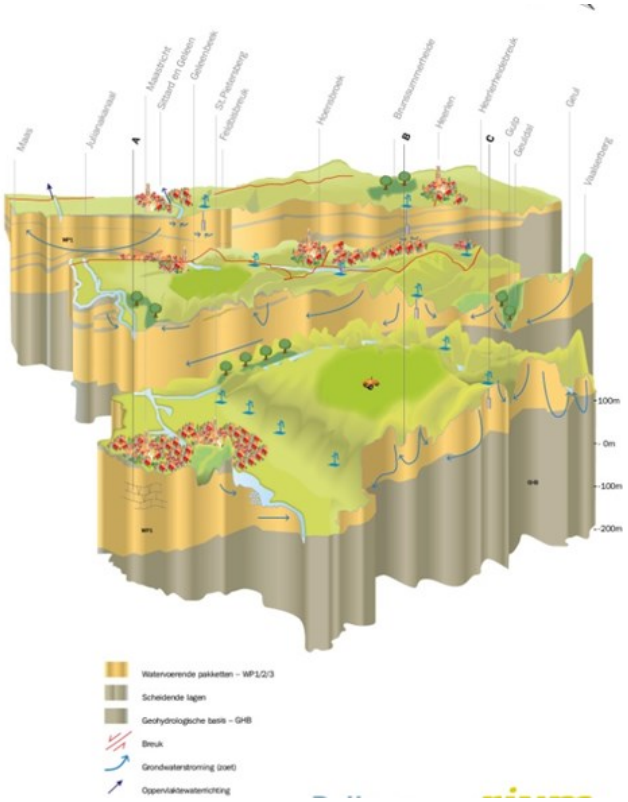
REGIONALE VERSCHILLEN OVER NEDERLAND

In de uitspoeling van meststoffen naar de ondergrond zijn over Nederland grote verschillen aanwezig, die voor een groot deel zijn terug te voeren op transportroutes en voor een ander deel aan de natuurlijke reactiecapaciteit van de ondergrond.

Uit Figuur 1 blijkt dat de gevoeligheid voor uitspoeling in grootste deel van het klei-veengebied in het westen van Nederland kleiner is dan op de hoge zandgronden en dat de mogelijke invloed beperkt blijft tot de bovenste 10 meter van het grondwater(de Goffau 2013. In die klei- en veengebieden is wel degelijk via ondiepe afstroming sprake van hoge N en P concentraties (Klein et al. 2012) maar die bereiken het diepere grondwater niet als gevolg van de hydrologische en geochemische situatie.(Van Vliet et al. 2010) Voor stikstof geldt daarnaast dat er in die gebieden en grondwaterlichamen een grote denitrificatiecapaciteit aanwezig is, door het voorkomen van veenlagen en vers organische stof. In die gebieden zijn wel hoge fosfaat- en ammonium concentraties in het diepere grondwater aanwezig , die naar alle waarschijnlijk zijn terug te voeren op natuurlijke processen.

Ook de uitspoeling van andere stoffen uit de landbouw, zoals bestrijdingsmiddelen, blijft in westelijk Nederland beperkt, al zijn in de bovenste 10 meter zeker in de zuidelijke bollenstreek hoge concentraties ETU gemeten die tot een gebruiksverbod van bis-dithiocarbamaten in dat gebied heeft geleid.

In het grootste deel van de hogere zandgronden (en dus in alle grondwaterlichamen in het zandgebied) is wel sprake van uitspoeling van nitraat en reactieproducten (De Goffau,et al. 2013). In infiltratiegebieden zonder drainage of dicht slotenstelsel gaat die uitspoeling het diepst. Natuurlijk organisch materiaal en ijzersulfiden beperken daarbij de diepte van nitraatuitspoeling, maar nevenproducten van de denitrificatiereactie en de hoge opgeloste stofconcentraties leiden in die gebieden wel tot kwaliteitsverslechtering van het grondwater.



Figuur 2: Conceptueel blokdiagram van het Grondwaterlichaam Krijt--Maas, dat het meest kwetsbaar is voor de uitspoeling van nitraat naar waterwinningen, natuurlijke bronnen en grondwaterafhankelijke natuur.

Bij veel waterwinningen is inmiddels sprake van kwaliteitsverbetering doordat het mestbeleid tot reductie van nitraatuitspoeling heeft geleid (Broers et al. 2012) maar er zijn winningen in het oosten van het land waar de nitraatconcentraties nog altijd stijgen. In ruw water van drinkwaterpompstations zijn enkele gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen, maar het aantal met concentratie boven de drinkwaternorm is beperkt. Een aantal van die stoffen is inmiddels niet meer op de markt. De belangrijkste stoffen nu zijn bentazon, MCPA en mecoprop. (Boesten et al., 2012). Nog vrij onbekend is de situatie voor metabolieten.

In het grondwaterlichaam Krijt-Maas, dat overeenkomt met de mergelplateaus in Zuid-Limburg spoelt nitraat tot grote diepte uit omdat de denitrificatiecapaciteit daar heel beperkt is (Figuur 2). Door de relatief diepe grondwaterspiegels en dikke onverzadigde zone is hier sprake van een iets vertraagde reactie in waterwinputten en natuurlijke bronnen, maar zowel de waterwinning als de bronnen hebben last van hoge nitraatconcentraties, die nog nauwelijks dalen (Hendrix & Meinardi 2004, Broers et al. 2009). Uit metingen blijkt dat het grondwaterlichaam Krijt-Maas minder kwetsbaar is voor de uitspoeling van bestrijdingsmiddelen dan het noordelijker gelegen zandgebied (Vink et al. 2012)

Beschikbare gegevens en kennis

Gegevens over de uitspoeling va meststoffen en bestrijdingsmiddelen zijn in Nederland op grote schaal beschikbaar via landelijke meetnetten, waaronder vooral het Landelijk Meetnet Effecten Mestbeleid (LMM;RIVM) en het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG;RIVM). De provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG) en bodemkwaliteit (PMB) vormen daarop een goede aanvulling. Daarnaast beheren de waterleidingbedrijven een waarnemingsnet van peilbuizen die regelmatig worden bemonsterd en bemonsteren zijn op systematische wijze het opgepompte ruwwater. Veel van de landelijk en provinciaal verzamelde gegevens zijn beschikbaar via DINO, de database over de Nederlandse ondergrond. Met name de waterleidingmaatschappijen monitoren ook op nieuwe stoffen, zoals diergeneesmiddelen, waar de landelijke en provinciale meetnetten zich vooral richten op macrochemie, nutriënten en een pakket aan bestrijdingsmiddelen (REWAB database)..
Kennisontwikkeling op het gebied van de ondiepe waterkwaliteit onder agrarische bedrijven is vooral beschikbaar bij het RIVM en Alterra. Kennis over het transport van meststoffen naar de diepere ondergrond, waterwinningen en het oppervlaktewater is vooral beschikbaar bij Deltares, KWR en Alterra.

Referenties naar websites, rapporten

Aa M. van der et al. H.P. Broers & J. Griffioen & K. Verloop (2003). Omzetting vannitraat in de ondergrond: kunnen we daar op verrouwen. Marke rapport 42 (WUR/CLM)

Baumann et al., 2012 RIVM-rapport 680716007

Bolt, F.J.E. van der et al. (2012). Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex post. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2318

Boesten JJTI, Van der Linden AMA, Beltman WHJ, Pol JW. 2012. Leaching of plant protection products and their transformation products. Proposals for improving the assessment of leaching to groundwater in the Netherlands. Alterra report 2264. ISSN 1566-7196.

Broers, H.P. & J.Griffioen (2004) Naar een andere toetsdiepte voor nitraat in grondwater? Achtergronddocument voor de Evaluatie Meststoffenwet 2004. TNO rapport NITG 04-166-A

Broers, H.P., Visser, A., Klein, J., Verheul, M. (2009) Vaststellen van trends en trendomkering van grondwater ten behoeve van de KRW. Resultaten van de datering van het grondwater onder landbouwgebieden op droge zandgrond in het grondwaterlichaam Zand-Maas. Deltares rapport 2009-U-R81132.

Broers, H.P. and J. Griffioen (2012). Grondwaterstress – Wat nu? En Hoe dan? Bodem (4):14-16

Broers H.P., R. Heerdink, A. Visser and A. Marsman (2012). Aquatempo: grondwaterdatering voor waterwinningen. TNO rapport 2012-R10374

De Goffau et al., 2013 RIVM rapport 680717030

Klein J., J. Rozemeijer, H.P. Broers en M. Mul (2012) Toestand en trends nutriënten landbouw specifiek oppervlaktewater. H2O (14/15):51-53

Hendrix, W.A.P.M. en C.R. Meinardi (2004). Bronnen en bronbeken van Zuid Limburg. RIVM rapport 500003003. RIVM, Bilthoven.

Klein, J., J.C. Rozemeijer, H.P. Broers en B. van der Grift (2012). Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Deelrapport B: Toestand en trends. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Utrecht, Deltares, rapport 1202337-000-BGS-0008.

Tol-Leenders, T.P. van et al. (2011) Monitoring van nutriënten in het oppervlaktewater van stroomgebieden : analyse van metingen in de gebieden Drentse Aa, Schuitenbeek, Krimpenerwaard en Quarles van Ufford. Alterra rapport ISSN 1566-7197 ; 2222

Mendizabal, I., P. J. Stuyfzand (2011) Quantifying the vulnerability of well fields towards anthropogenic pollution: The Netherlands as an example, Journal of Hydrology 398

Rozemeijer J.C., Y. van der Velde, F.C. van Geer, M.F.P Bierkens and H.P. Broers (2010). Direct measurements of the tile drain and groundwater flow route contributions to surface water contamination. Environmental Pollution 158:3571-3579.

Rozemeijer, J. and H.P. Broers (2007) The groundwater contribution to surface water contamination in a Dutch province with intensive agricultural land use. Environmental Pollution 148(3): 695-706

Tesoriero, A.J. & L.J. Puckett (2011) O2 reduction and denitrification rates in shallow aquifers. Water resources Research 47, W12522

Vink et al. 2010. Bestrijdingsmiddelen in 14 kwetsbare grondwater-beschermingsgebieden in Limburg. H2O 12: 8-10.

Visser, A., H.P. Broers, & M.F.P. Bierkens (2007) Demonstrating trend reversal in groundwater quality in relation to time of recharge determined by 3H/3He dating. Environmental Pollution 148(3): 797-807

Visser A., H.P. Broers, A. Vonk en B. Veldstra (2009). Verbetering grondwaterkwaliteit aangetoond door leeftijdsbepalingen. H2O 23: 29-32

Van Vliet et al., 2010 De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland in 2008.RIVM rapport 680721005

Willems et al., 2012 EMW 2012, PBL-rapport 50025001

Wuijts, S. ; Buis, E.; Verweij, W. ; Dik, H.H.J. ; Houweling, D.A. (2013). Tussenevaluatie gebiedsdossiers drinkwaterwinningen Aandachtspunten voor het landelijk beleid. RIVM rapport 609716006.

Zhang Y.C et al. (2012). Isotopic and microbiological signatures of pyrite-driven denitrification in a sandy aquifer. Chemical Geology 300-301:123-130

Zhang Y.C., C.P. Slomp, H.P. Broers, H.F. Passier and Ph. Van Cappellen (2009) Denitrification coupled to pyrite oxidation and changes in groundwater quality in a shallow sandy aquifer. Geochemica et Cosmochimica Acta 73:6716-6726.

Deze factsheet is onderdeel van het rapport: Broers, H.P., en Lijzen, J.P.A. 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares (Utrecht) en RIVM (Bilthoven). Deltares-rapportnummer 1207762-016, RIVM-rapportnummer 607710003/2014.