



De duurzaamheid van kunstmatige infiltratie, geochemisch gesproken

PIETER STUYFZAND, VRIJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM / KIWA WATER RESEARCH

MARCO KORTLEVE, DUINWATERBEDRIJF ZUID-HOLLAND

THEO OLSHOORN, WATERLEIDINGBEDRIJF AMSTERDAM

HARRY ROLF, PWN WATERLEIDINGBEDRIJF NOORD-HOLLAND

Het is al lang niet meer zo, dat kunstmatige infiltratie bij drinkwaterbereiding ingezet mag worden om verontreinigingen door de bodem te laten ufiltreren. Het Infiltratiebesluit uit 1993 voorkomt dit door strenge eisen aan de kwaliteit van het kunstmatig te infiltreren oppervlaktewater. Dat water ondergaat derhalve sindsdien voor infiltratie in de duinen een aanzienlijke voorzuivering. Voorraad- vorming, afvlakking van fluctuaties in de waterkwaliteit (inclusief temperatuur) en natuurlijke verwijdering van pathogenen vormen tegenwoordig de hoofddoelen van kunstmatige infiltratie. Desondanks vragen velen zich af wat de geochemische effecten zijn van bijna een halve eeuw kunst- matige infiltratie in de duinen. Verstoppem bodem en terugwinmiddelen niet, hopen verontreinigin- gen zich niet ontoelaatbaar op in de duinbodem, raakt de natuurlijke duinbodem niet uitgeloozd en verliest de duinbodem daardoor niet zijn zuiverend vermogen? Recent geochemisch onderzoek door Kiwa Water Research en de duinwaterbedrijven DZH, WLB Amsterdam en PWN geeft antwoord op deze vragen.

De processen van uitloging en ophoping blijken niet omvangrijker, maar wel tien tot honderd maal sneller te verlopen dan in de natuurlijke situatie (duinen met alleen atmos- ferische depositie). Volledige uitloging van de bodem vergt echter volgens modelberekenin- gen duizenden jaren, mede dankzij een sterke kwaliteitsverbetering van het infiltratiewater sedert circa 1975. Die kwaliteitsverbetering draagt tevens bij aan een sterke afname (factor 10 tot 10.000) van de ophoping van slib en microverontreinigingen in het duinzand. De ophoping en uitloging beperken zich de komende decennia tot een klein deel van de doorspoelde bodem (minder dan vijf meter). Dit alles betekent dat de zuiverende werking van de infiltratie blijft voortbestaan en dat de bestaande infrastructuur (infiltratiebekkens en terugwinmiddelen) niet te maken krijgt met sterk teruglopende prestatiekenmerken.

De duininfiltratiesystemen in het westen van Nederland zijn sinds 1974 meer in harmo- nie gebracht met de omringende natuurlijke duinmilieus dan in de beginperiode (1955- 1974). Toch persisteren vragen over de duur-

zaamheid ervan. Dat komt onder andere door het slechte imago van rivierwater, de onna-

tuurlijk hoge waterflux in gebieden met kunstmatige infiltratie, de algemene perceptie dat waar de mens de natuur intensief benut vroeg of laat altijd onherstelbare schade ont- staat én de verankering van het duurzaam- heidsprincipe in het huidige milieubeleid.

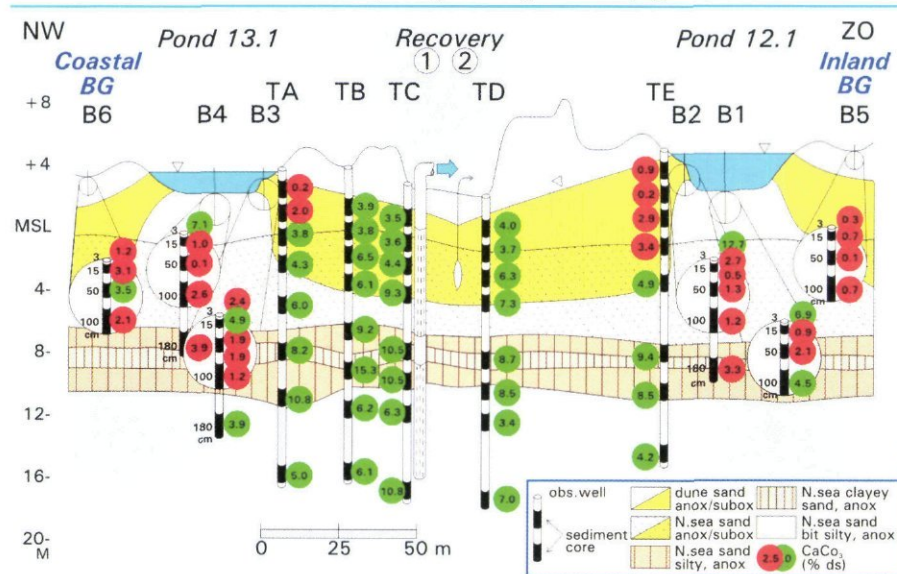
Na bijna 50 jaar infiltreren is de tijd rijp om een balans op te stellen; dit keer niet van de hydrochemische toestand^{1),2),3),4)}, maar van de geochemische toestand van de doorspoelde bodem⁵⁾. Centraal staan hierbij de volgende vragen:

- In hoeverre accumuleren stoffen en logen deze uit in de duininfiltratiegebieden langs de Hollandse kust?
- Hoe ontwikkelen de processen van accu- mulatie en uitloging zich op de lange ter- mijn?
- Hoe verhouden deze processen zich tot die in duinen zonder kunstmatige aanvil- ling?
- Wat zijn de consequenties van bovenstaan- de punten voor de duurzaamheid van kunstmatige infiltratie?

De duininfiltratiegebieden Scheveningen (Duinwaterbedrijf Zuid-Holland) en Zand- voort (Waterleidingbedrijf Amsterdam) zijn geochemisch onderzocht op basis van 118 nieuwe bodemonsters. In beide duingebie- den zijn daartoe twee meetraaien geboord van infiltratiebekkens tot en met terugwinning, plus twee meetpunten op natuurlijke locaties zonder kunstmatige infiltratie (in de zeereep en aan de binnenduintrand). De DZH-meet- punten zijn in afbeelding 1 weergegeven.

De accumulatie en uitloging zijn gekwan- tificeerd, na bewerking van de ruwe data met

Afb. 1: De DZH-meetraai over twee infiltratiepannen ten noorden van Scheveningen, met geochemische analysere- sultaten voor kalk. Geprojecteerde natuurlijke achtergrondmeetpunten zijn: B6 (kalkrijk duin in zeereep) en B5 (ontkalkt duin in binnenduintrand). Rode/groene bolletjes = kalkuitloging wel/niet aantoonbaar.



de geochemische calculator en het databestand GEO-CHEMCAL⁶⁾, bepaling van natuurlijke achtergrondniveaus en penetratie- en uitloogdiepten van stoffen per bodemtype. Geanalyseerd zijn 19 bulkparameters (zoals kalk), 61 anorganische microverontreinigingen (bijvoorbeeld zink) en 190 organische microverontreinigingen (bijvoorbeeld PAK).

Vervolgens is met het expertmodel Easy-Leacher 4.8⁷⁾, na ijkning op de geochemische meetresultaten en waterkwaliteitsmetingen in het verleden, berekend hoe snel de processen van accumulatie en uitloging voortschrijden tijdens infiltratie van vuil infiltratiewater (voor 1975) en relatief schoon infiltratiewater (sinds 1975).

Ophoping

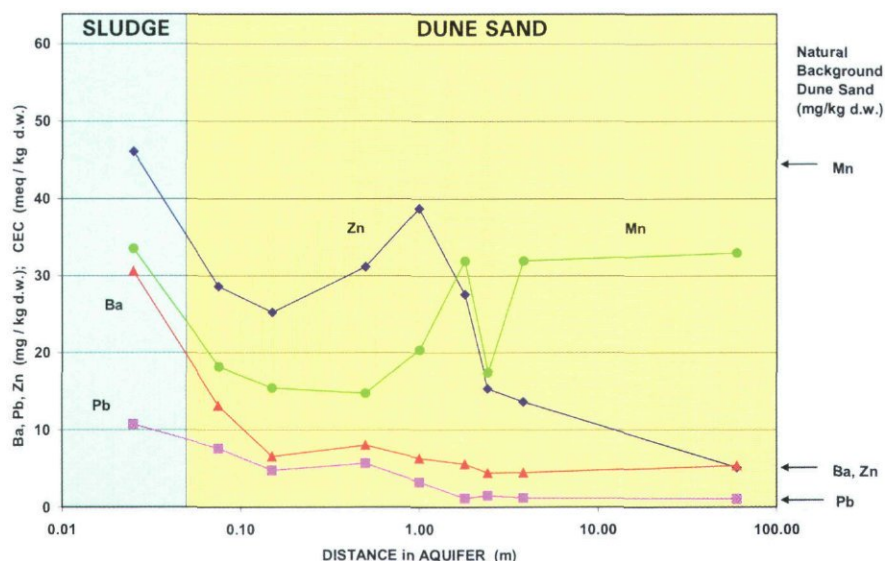
Verontreinigingen accumuleren in slib op de bodem van infiltratiemiddelen en in het doorspoelde zandpakket. De hier onderzochte slibben zijn van de tweede generatie, dat wil zeggen gevormd na verwijdering van de eerste generatie bodemslib en ontstaan na verbetering van de voorzuivering en oppervlaktewaterkwaliteit omstreeks 1975. Bijgevolg zijn zij dun (twee tot vijf centimeter, aanwas ongeveer twee millimeter per jaar) en van gunstige samenstelling (rond natuurlijk achtergrondniveau of streefwaarde).

Ook de doorspoelde zandformaties getuigen van weinig ophoping, die zich voor de meeste stoffen beperkt tot een strook van maximaal vijf meter afstand van de infiltratiemiddelen (afbeelding 2). Ag, Cd, Cr, Tl, V en Zn blijken op uiterst laag niveau de vijf meter grens wel te passeren. De gehalten van vrijwel alle onderzochte parameters liggen overigens rond de natuurlijke achtergrondwaarde.

Uitloging

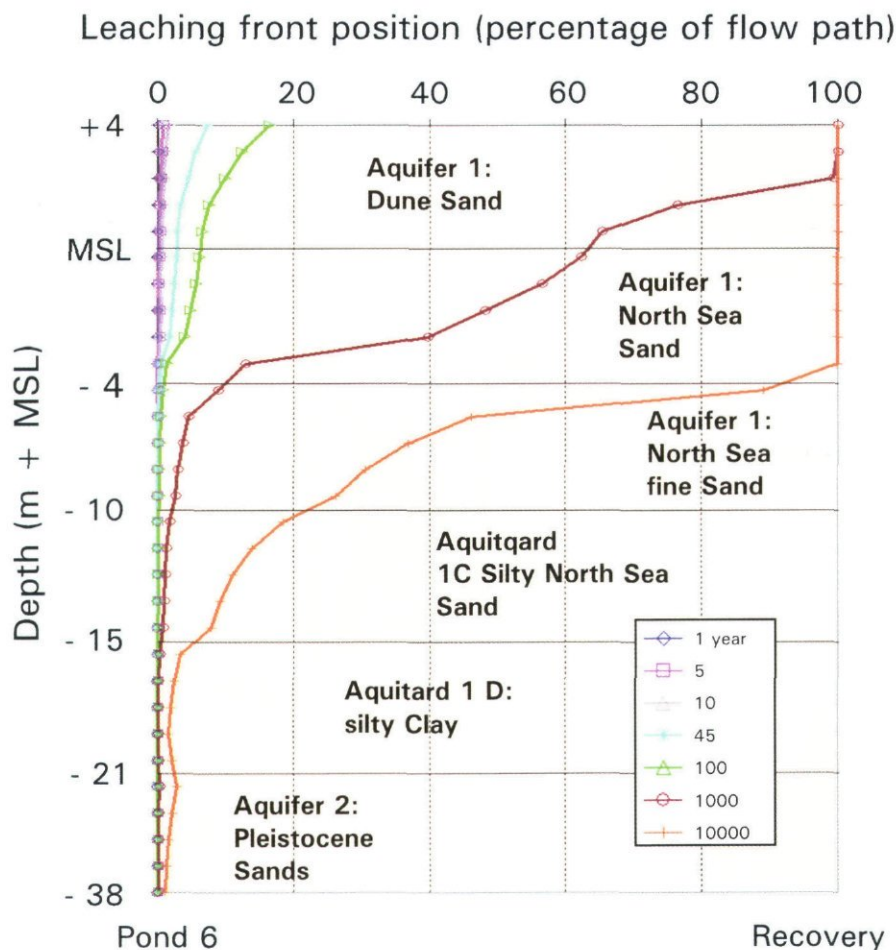
Hydrochemisch onderzoek wijst duidelijk uit dat duininfiltratie leidt tot uitloging van kalk, organische stof, pyriet, mangaan-, ijzer- en siliciumverbindingen. Voorliggend geochemisch onderzoek bevestigt dit wat betreft kalk (afbeelding 1), mangaan (afbeelding 2) en siliciumverbindingen, in duinzand. Kalk en mangaanverbindingen zijn anno 2002 voor 40 tot 80 procent uitgeloozd in oevertalud (waar het meeste infiltratiewater passeert) over een afstand van anderhalf tot drie meter. Daar voorbij lossen beide bestanddelen nog wel op, maar in mindere (mangaan) en aanzienlijk mindere mate (kalk).

Petrochemische berekeningen, op basis van totaal-elementgehalten én overige analyses, wijzen erop dat aluminiumsilicaten en lanthaniden (onder andere in die mineralen) ook uitlogen, maar minder dan kalk. Van de aluminiumsilicaten lossen anorthiet en biotiet meer op dan de resistenter albiet en kaliveld-



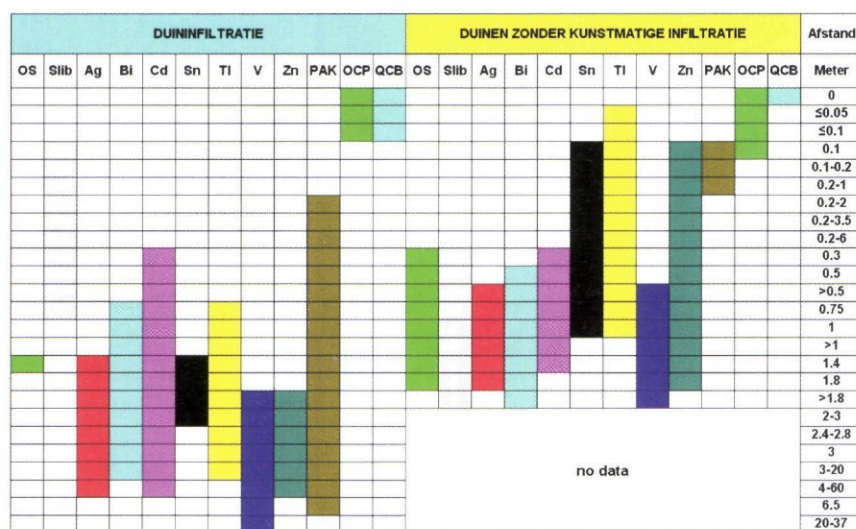
Afb. 2: Plot voor stroombaan van pan 12.1 naar de hoofdader (DZH Scheveningen). Ophoping van barium, lood en zink en uitloging van mangaan (vooral tussen 0 en 3 meter). De zinkpiek op één meter is het gevolg van een zwaarder belast verleden.

Afb. 3: Worst-case voortschrijding van het ontkalkingsfront tussen infiltratiegeul 6 en de terugwinning van Waterleidingbedrijf Amsterdam bij continue infiltratie van Rijnwater in 1970-1973. Thans verloopt de ontkalking tien maal langzamer!
X-as: 0 = in infiltratiegeul 6; 100 = in drainerend Westerkanaal; 1, 5, 10, 50, 100, 1.000, 10.000 = aantal jaren sinds start kunstmatige infiltratie.



Pond 6

Recovery



Afb. 4: Bandbreedte van penetratiediepten van stoffen die aan maaiveld geïntroduceerd zijn (bodenchromatogram) voor enerzijds de vier onderzochte infiltratiegebieden en anderzijds de vier natuurlijke duingebieden. OCP = organochloorpesticiden; OS = organische stof; QCB = pentachloorbenzeen; slib = deeltjes <16 µm.

spaat: respectievelijk 20 tot 60 procent en twee tot negen procent over enkele meters.

De oplossing van genoemde aluminiumsilicaten verrast ons, omdat deze niet uit hydrochemische waarnemingen volgt¹⁾!

Ontwikkelingen op lange termijn

De berekeningen hebben het volgende opgeleverd voor beide infiltratiegebieden:

- Volledige uitloging van kalk uit elk van de doorspoelde bodemlagen duurt overal duizend tot tienduizenden jaren (afbeelding 3). Voor pyriet geldt dat de uitloging in duinzand tussen infiltratiepanden en terugwinning al voltooid moet zijn, in onderliggende Noordzeezand halverwege is, en daaronder (meer dan vijf meter beneden NAP) nog (tien)duizenden jaren vergt;

- Uitloging van labiele organische stof en mangaanverbindingen vergt waarschijnlijk nog honderden tot duizenden jaren;
- De overschakeling, omstreeks 1975, van relatief vuil, kalkagressief infiltratiewater op schoon, minder kalkagressief infiltratiewater heeft geleid tot drastische vermindering van de uitloosnelheid van kalk (met een factor 10) en versnelling (anderhalf tot twee maal) van de uitloging van oxideerbare materialen als organische stof en pyriet. Daarnaast is de samenstelling van bodemslib en duinzand hierdoor zeer aanzienlijk verbeterd middels een afname van de ophoping van anorganische microverontreinigingen (met factor 10 tot 100) en organische microverontreinigingen (met factor 10 tot 10.000);
- De samenstelling van bodemslib en het onderliggende infiltratiepakket zal een zeer goede kwaliteit behouden, mits processen als chemische neerslagvorming (anorganische microverontreinigingen) en diepbedfiltratie van in infiltratiewater gesuspendeerde deeltjes (organische en anorganische microverontreinigingen) beperkt blijven tot de oevernabije zone.

Vergelijking met duinen zonder kunstmatige infiltratie: ophoping

Met infiltratiewater doorspoelde bodems (uitsluitend in verzadigde zone) zijn tot 120 cm -mv vergeleken met natuurlijke duinbodems

Processen van invloed op de geochemische duurzaamheid van kunstmatige infiltratiesystemen, met hun gevolgen en de daaruit voortvloeiende problemen.

proces	gevolgen	problemen
accumulatie slib	• stagnatie infiltratieproces • eutrofiëring oppervlaktewater • toename chemische putverstopping • meer denitrificatie • minder (sub)oxische OMIVE* • minder uitloging duinpakket	geen, want: • makkelijk te verwijderen • kwaliteit thans al zeer goed • aanwas langzaam • prognose = steeds schoner
accumulatie in duinpakket	• stagnatie infiltratieproces • kwaliteitsverslechtering teruggewonnen water • bedreiging kwelplassystemen • verbetering pathogeenverwijdering	nauwelijks, want: • in zeer geringe mate • over een klein gebied • zelfreinigendvermogen bodem groot • prognose = steeds schoner infiltratiewater dat verontreinigingen ook weer uitspoelt
uitloging duinpakket	• verlies zuurbufferend, reducerend en (ad)sorberendvermogen • meer NO₃ en (sub)oxische OMIVE* • afname ijzer, mangaan, NH₄ (minder slib) • afname verstopping deels aërobe winmiddelen • mogelijk toename verstopping van thans nog volledig anaërobe winmiddelen	geringe ernst, want: • in afnemende mate dankzij Kaderrichtlijn Water • kalkuitloging reeds fors afgenomen door verhoging SI en kwaliteit infiltratiewater • compensatie door positieve gevolgen (minder zuiveringsslib) • uitloging gaat bij kunstmatige infiltratie relatief snel, maar absoluut zeer langzaam • verlies zuurbufferend vermogen leidt niet tot verzuring dankzij basisch infiltratiewater

* (sub)oxische OMIVE = organische microverontreinigingen die in (sub)oxisch milieu persistent zijn.

(zonder kunstmatige aanvulling, in onverzadigde zone). In vergelijking met natuurlijke duinbodems bevatten infiltratiebodems meer kalk en geassocieerde spore-elementen (Sr, Mg, Co, Ni), meer stoffen uit oppervlaktewater (Ag, Ba, Cu, Mo, Ni, Tl, W, Zn, PCB, HCB en QCB) en minder atmosferisch aangerijkte stoffen (Pb, PAK, 4,4-DDE, 4,4-DDT en enkele OCP).

De bandbreedte van penetratiediepten van verontreinigende stoffen is in een bodemchromatogram (afbeelding 4) gepresenteerd. Penetratiediepten zijn in infiltratiesystemen groter dan in duinen zonder kunstmatige aanvulling, wat betreft: Cd, Cu, Sn, Tl, Zn, PAK, PCB en QCB. Dit komt wellicht door de veel hogere flux en minder snelle afbraak van PAK, QCB en PCB dankzij het minder aërobe milieu in de waterverzadigde zone van infiltratiesystemen.

Wanneer we de resulterende SOPI-scores (SOPI = Soil Pollution Index⁵⁾) vergelijken dan scoren duininfiltratiesystemen niet unaniem beter of slechter dan natuurlijke duinsystemen. Wat zware metalen, PCB en OCP betreft zijn alle bodems min of meer schoon te noemen (beter dan streefwaarde). Alleen de EOX- en PAK-gehalten liggen hoger dan de streefwaarde, zowel in duinen zonder als met kunstmatige infiltratie. Duinen met en zonder kunstmatige infiltratie etaleren dus geen grote verschillen in ophopingsniveau van verontreinigingen. De tijd die dit vergde, verschilt echter wel aanzienlijk (zie onderstaande).

Vergelijking met duinen zonder kunstmatige infiltratie: uitloging

De verschillen in uitloogdiepten en uitloogpercentages van kalk, aluminiumsilicaten (met name anorthiet, biotiet, albit en kaliveldspaat) en mangaanverbindingen, tussen duinen met en zonder kunstmatige infiltratie, zijn niet groot. De tijd die het proces vergde wel. De gemiddelde ontkalkingsnelheden verhouden zich als volgt: voor duinen met kunstmatige infiltratie vier centimeter per jaar en voor dui-

nen zonder kunstmatige infiltratie 0,06 centimeter, met andere woorden in duinen met kunstmatige infiltratie 67 maal sneller.

De uitloogsnelheden in duinen met kunstmatige infiltratie zijn voor kalk, silicaten en mangaan echter drastisch afgenomen omstreeks 1975, toen het infiltratiewater veel minder kalkagressief en aërober werd. Niettemin zijn de uitloogsnelheden in infiltratiegebieden nog steeds aanzienlijk hoger (10-100 maal) dan in aangrenzende natuurlijke duinen. Dat geldt, volgens berekeningen met het programma Easy Leacher 4.8, ook voor pyriet en organische stof.

Conclusies

De belangrijkste geochemische processen van invloed op de duurzaamheid van duinen met kunstmatige infiltratie zijn volgens tabel 1 de accumulatie van slib in infiltratiepanden, de ophoping van stoffen (vooral microverontreinigingen) in het zandpakket én de uitloging van dat zandpakket. De mate waarin deze processen zich manifesteren, leidt echter niet tot wezenlijke problemen. Kunstmatige infiltratie is derhalve in geochemische zin een duurzame activiteit.

Met andere woorden:

- De processen van uitloging en ophoping zijn qua omvang vergelijkbaar met de natuurlijke situatie, maar verlopen in duinen met kunstmatige infiltratie aanmerkelijk sneller. Zij beperken zich de komende decennia echter tot een klein deel van de doorspoelde bodem (minder dan vijf meter);
- De zuiverende werking van de infiltratie blijft voortbestaan;
- De bestaande infrastructuur (vooral infiltratiebekkens en terugwinmiddelen) krijgen gemiddeld gesproken niet te maken met sterk teruglopende prestatiekenmerken;

- De bedrijven kunnen minstens decennia lang doorgaan met infiltreren en terugwinnen met naar onze inschatting maatschappelijk aanvaardbare geochemische gevolgen.

Aanbevelingen voor nader onderzoek

Het onderzoek roept onder andere de navolgende vragen op:

- Welke consequenties heeft het verdwijnen of juist tolereren van riet in infiltratiegebieden op de bodempassage en vastlegging van nutriënten en verontreinigingen?
- Wat is het gedrag van de nog deels onbekende stoffen, zoals farmaca, xeno-oestrogenen, MTBE, NDMA en urotropine, in de bodem? ➡

LITERATUUR

- 1) Stuyfzand P. (ed) 1984. Microverontreiniging en duininfiltratie. Kiwa Mededeling 81.
- 2) Stuyfzand P. (1986). Macroparameters bij duininfiltratie; kwaliteitsveranderingen van oppervlaktewater bij kunstmatige infiltratie in de Nederlandse kustduinen. Kiwa Mededeling 82.
- 3) Stuyfzand P. en F. Lüers (1996). Gedrag van milieugevaarlijke stoffen bij oeverinfiltratie en kunstmatige infiltratie; effecten van bodempassage gemeten langs stroombanen. Kiwa Mededeling 125.
- 4) Stuyfzand P. en F. Lüers (2000). Balans van milieugevaarlijke stoffen in natuurterreinen met en zonder kunstmatige infiltratie. Kiwa Mededeling 126.
- 5) Stuyfzand P. (2003). Duurzaamheid van duininfiltratie in geochemisch perspectief. Kiwa-rapport KWR 03-096.
- 6) Stuyfzand P. (2004). GEO-CHEMCAL 5.1: a geochemical calculator and database.
- 7) Stuyfzand P. (2003). EASY-LEACHER 4.8, an expert-model for quantifying the quality changes upon artificial recharge and river bank infiltration.
- 8) Infiltratiebesluit Bodembescherming (1993).
- 9) Leidraad bodembescherming nr. 4 (1998). Ministerie van VROM.