

Voorkom een watersysteeminfarct: beperk en verbeter bodemslib in infiltrerende waterlopen

DR. PIETER STUYFZAND, KIWA WATER RESEARCH

Slib in watergangen vertoont overeenkomsten met het multicausale hartinfarct. Te weinig beweging, te veel voedingsstoffen, stress (verstoring van evenwicht) en 'aanleg' vormen namelijk de hoofdoorzaken. Ook in infiltrerende waterlopen hoopt zich vroeg of laat bodemslib op, meestal met nadelige uitwerking op de hydrologie, de chemie van grond- en oppervlaktewater en het ecosysteem. Verwijdering van dit slib leidt tot hoge kosten, milieuschade en groei van het afvalprobleem elders. De accumulatiesnelheid en samenstelling van bodemslib hangen van veel factoren af. De infiltratie van oppervlaktewater speelt echter altijd een cruciale rol. Dit artikel geeft aan wat er in infiltrerende waterlopen gebeurt (met voorbeelden uit de praktijk van de kunstmatige infiltratie voor de drinkwatervoorziening), wat de slibmodule van Kiwa's transportmodel Easy-Leacher voorspelt en hoe het probleem is te beperken of te voorkomen bij een medische aanpak. Waterschappen en overheden kunnen met modellen als Easy-Leacher doorrekenen welke preventieve maatregelen de aanwassnelheid van onderwaterbodems het meeste beperken en de gunstigste chemische samenstelling van het slib opleveren.

Onderwaterbodems, meestal bodemslibben, vormen een probleem wanneer zij leiden tot:

- stagnatie van het in- of exfiltratieproces door bodemverstopping van de watergang (met irrigerende of drainerende functie),
- reductie van de waterdiepte, met hinder voor de scheepvaart en verlies aan waterbergend vermogen,
- kwaliteitsverslechtering van het erover stromende oppervlaktewater (onder andere afgifte van nutriënten) of erdoorheen infiltrerende water (bijvoorbeeld afgifte van microverontreinigingen zoals arseen),
- ophoping van microverontreinigingen in die mate, dat de export van het slib naar bestemmingen elders om kwaliteitsredenen bemoeilijkt wordt (bijvoorbeeld wanneer sprake zou zijn van chemisch afval)
- en verlies van ecologische en recreatieve functies.

Tussen 1985 en 1992 kregen onderwaterbodems veel wetenschappelijke aandacht^{2),7)}. Thans domineren de praktische kanten van de zaak¹⁾. Preventieve maatregelen hebben echter

de toekomst, zoals het ruimen en milieuhygiënisch verwerken/deponeren.

Het probleem, bij kunstmatige infiltratie

Kunstmatige aanvulling van het grondwater, dat gewonnen wordt voor drinkwater-

bereiding, geschiedt in Nederland sedert 1940. Dit gebeurt voornamelijk middels infiltratiepanden en met voorgezuiverd oppervlaktewater. Bodemverstopping door slibafzetting vormt bij deze methode een kardinaal probleem, omdat het de productiecapaciteit aantast. Daarnaast spelen bovengenoemde kwaliteitsproblemen een rol, vanwege de hoge natuurwaarde van de meeste infiltratiegebieden (onder meer in de kustduinen) en het neven doel van de infiltratie: kwaliteitsverbetering van het geïnfiltreerde water.

Bodemslib kent overigens ook positieve kanten. De waterkwaliteit kan namelijk verbeteren tijdens slibpassage dankzij nitraatverwijdering, afbraak van organische microverontreinigingen die in anaëroob milieu instabiel zijn, en vastlegging van diverse zware metalen (indien H_2S gevormd wordt). Ontdekker en pleitbezorger van bodemslibpassage als biochemisch zuiveringsproces met hoog rendement, mits de inzijsnelheden een bepaalde maximumwaarde (rond één centimeter per uur) niet overschrijden, was de Nederlander Gurck (toenmalig directeur Duinwaterleiding 's-Gravenhage). Tegen deze achtergrond is het begrijpelijk dat de Duinwaterleiding Zuid-Holland het bodemslib, tenminste tot einde jaren 80, zo min mogelijk verwijderde.

Het unieke van infiltratiegebieden is dat men de plas in de meeste gevallen gemakkelijk droogzet door de kunstmatige toevoer te stoppen en de winning te continueren. Zo kon men in het verleden het slib op eenvoudige wijze ruimen (met hark of shovel) of door natuurlijke processen laten verkruijmen (dankzij inwerking zon en wind). De toegenomen behoefte aan drinkwater en de ecologische waardering van permanent met water gevulde bekkens hebben ertoe geleid dat bodemslib thans zo veel mogelijk voorkomen wordt en dat slibuiming bij voorkeur in den natte geschiedt. Kenmerkend voor infiltratiepanden (onder meer in de duinen) is ook dat vrijwel

Slib hoopt zich in infiltratiebekkens vooral op de diepere delen op, de oevertaluds blijven slibvrij.



alle zwevende stof ergens in het systeem op het grensvlak van water en sediment wordt weggevangen, er is geen afvoerpost via open water.

Geen uniforme slibbedekking

Slib vormt zich in infiltratiepanden door gaans op de diepere delen, dus veel minder op de oever taluds, en ook veel minder waar rietkragen aanwezig zijn. Op de oeverdelen bezinkt nu eenmaal, onder invloed van de golfwerking, minder zwevend stof en leidt periodieke expositie van slib door waterstandfluctuaties tot versnelde afbraak, verdroging, verkrumeling en verwijdering door de wind.

Riet voorkomt, tot op zekere hoogte, de ophoping van dikke sliblagen. Riet versnelt namelijk de mineralisatie van dode organische stof, en bevordert de oplossing van neergeslagen kalk (dankzij het bij mineralisatie en wortelrespiratie ontstane koolzuur). Dit houdt verband met zuurstoftoevoer naar de waterbodem via het wortelstelsel dat toegerust is met het zogenaamde aerenchym-systeem (luchtinvoer via celholten), en de verhoging van het hydraulische doorlaatvermogen door het ontstaan van wortelgangen en door bioturbatie.

De aanwassnelheid

Een ieder voelt op zijn cerebrale klompen aan dat een hoog zwevend stofgehalte van water en een hoge infiltratie-intensiteit tot een hoge accumulatiesnelheid van slib leiden. Dat gebeurde ook tijdens de eerste decennia van de kunstmatige infiltratie, toen de voorzuivering van het oppervlaktewater zich beperkte tot snelfiltratie. Met zwevend stofgehaltes van 2-5 mg/l groeide het slib jaarlijks aan met enkele centimeters. En dat leidde tot bijna jaarlijkse schoonmaakoperaties, althans



De gunstige invloed van riet op de slibaccumulatie: de zwarte slibkluut (bij schepje) stamt van de geulbodem zonder riet op twee meter afstand van de rietbegroeiing.

in de intensievere infiltratiegebieden. Medio jaren 70 werd de voorzuivering in de meeste gevallen uitgebreid met een coagulatiestap die de last aan gesuspendeerde bestanddelen terugbracht tot minder dan één milligram per liter en, mede daardoor, de groeisnelheid reduceerde tot enkele millimeters per jaar. De frequentie van slibruiming is dientengevolge gedaald naar één keer per tien tot 20 jaar.

Natuurlijk zijn veel meer factoren van invloed op de slibproductie (zie kader). De infiltratie van water door slib speelt hierbij een cruciale rol, omdat het de afbraak van slib bevordert. Enerzijds voert het water de oxidatoren (zuurstof, nitraat en sulfaat) aan die

organische stof mineraliseren, en koolzuur dat kalk oplost. Anderzijds voert het de reactieproducten als bicarbonaat en calcium af, hetgeen de reactie op gang houdt.

Chemische samenstelling

De chemische samenstelling van bodemslib in infiltratiepanden wordt bepaald door de factoren genoemd in bijgaand kader. Voor vier slibtypen is de samenstelling in tabel 1 weer gegeven: eerste en tweede generatie infiltratieslib uit de duinstreek, kalkarm infiltratieslib uit Enschede en, ter vergelijking, kalkrijk slib uit duinmeertjes (zonder kunstmatige infiltratie).

Het eerste generatie infiltratieslib stamt uit de periode zonder coagulatie in de voorzuivering (veelal tot medio jaren 70). Logischerwijs is dit slib meer vervuild met zware metalen en organische microverontreinigingen dan het nadien gevormde infiltratieslib van de tweede generatie. Dat slib onderging een verdere voorzuivering (inclusief coagulatie), terwijl de rivierkwaliteit sterk verbeterde.

Infiltratieslib van de eerste generatie is minder kalkrijk, onder meer omdat het infiltratiewater destijds kalkagressief was, daarna juist kalkafzettend. Kalkagressief infiltratiewater verhindert ook te Enschede dat zich in slib veel kalk ophoopt.

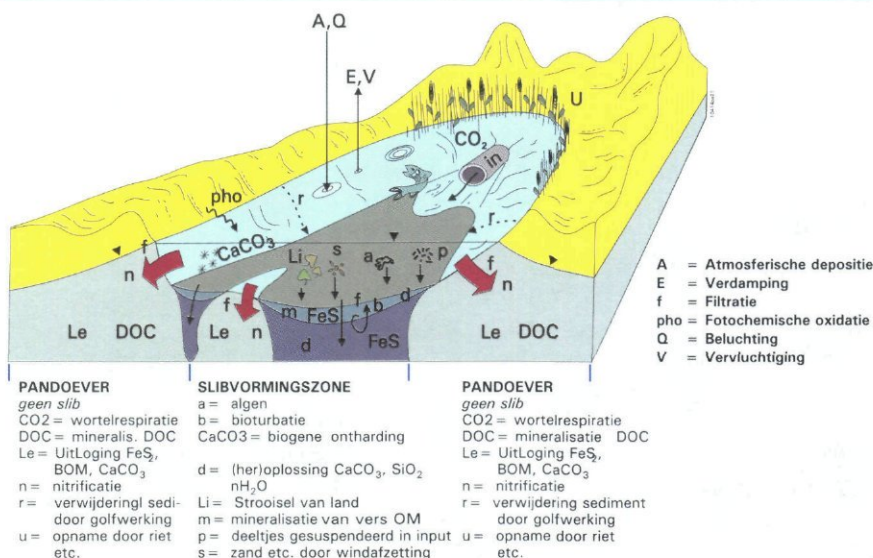
Infiltratieslibben van de tweede generatie onderscheiden zich van de onderwaterbodem in duinmeertjes, die alleen gevoed worden door duingrondwater en hemelwater, door onder meer hun lagere gehalte aan organische stof, lood en PAK, en hogere concentratie chroom en koper⁵.

Modellering slibaangroei en -kwaliteit: principe

Kwaliteit en aanwassnelheid van bodemslib in infiltrerende waterlopen kunnen gemodelleerd worden met de slibmodule van Easy-Leacher 4.6 (EL). EL staat voor een expertsysteem van Kiwa voor tweedimensionale modellering van de kwaliteitsveranderingen bij kunstmatige infiltratie en oeverfiltratie^{3,4}. Een belangrijke randvoorwaarde is dat variaties in kwaliteit van het infiltratiewater, in hydrologie en slibcondities verwaarloosd worden (stationair model). De slibmodule vormt een onlosmakelijk onderdeel van het model, omdat de mate van slibcontact bepalend is voor de agressiviteit van het percolaat ten opzichte van het watervoerende pakket.

Eerst worden de kwaliteitsveranderingen in een gemiddeld infiltratiepand of in de riviertak gemodelleerd, met berekening van de effecten van navolgende processen: bijmenging van regenwater (+ droge depositie), verdamping, nutriëntopname door vooral algen, biogene hardheidsreductie, vervluchtiging, fotolyse en biodegradatie. Enkele processen produceren aanzienlijke hoeveelheden

Afb. 1: Een infiltratiepand met de ruimtelijke verdeling van slib en de processen die bijdragen aan slibvorming en slibvermindering.



extra zwevend stof (vooral kalk en organische stof) ten opzichte van de reeds in de aanvoer zittende gesuspendeerde deeltjes. Het totaal aan zwevend stof wordt vervolgens verondersteld neer te slaan in een bepaald percentage van het totale oppervlak aan infiltratiemiddelen (de diepere delen, doorgaans 50 tot 70 procent). Aangenomen wordt dat een deel van het slib dun blijft ((sub)oxisch of anoxisch) en een deel dik (anoxisch of diep anoxisch met neerslag van sulfiden). De infiltrerende waterstroom wordt hierdoor in drie delen gesplitst: een deelstroom zonder slibpassage, één met passage van dun slib en één met passage van dik slib. Beide waterfluxen door slib logen het slib weer gedeeltelijk uit, althans wat betreft

organische stof, kalk en microverontreinigingen. EL berekent uiteindelijk de gemiddelde slibkwaliteit en gemiddelde slibaanwassnelheid.

Modellering: resultaten

Stuyfzand & Mosch simuleerden met Easy-Leacher de aanwassnelheid en chemische samenstelling van oud, verontreinigd en recent, relatief schoon bodemslib in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Met het op vele meetgegevens geijkte model zijn diverse scenario's doorgerekend die tot soms verrassende resultaten leidden. De meest interessante voor de praktijk is, dat een drastische verlaging van de algenbloei (met 67 procent) kan

leiden tot meer dan 50 procent reductie van de aanwassnelheid van slib, een lager gehalte aan organische stof en organische microverontreinigingen als PAK, doch significant hogere gehalten aan zware metalen en kalk. Al met al scoort de beperking van algenbloei niet alleen goed qua verminderde slibaangroei maar ook qua resulterende slibkwaliteit (bij toetsing aan de Leidraad Bodemsanering). Interessant zijn ook de voorspelde gevolgen voor de waterkwaliteit⁵.

Merkwaardig genoeg leidde halvering van de waterflux (het infiltratiedebiet), bij een lage sliblast, juist tot een hogere aanwassnelheid van slib (vijf tot tien procent). De verklaring is dat bij een lage slibbelasting minder slib verteert.

De gevolgen van dergelijke maatregelen zijn dikwijls verrassend, zonder model moeilijk in te schatten, laat staan te kwantificeren. Van bijzondere betekenis zijn daarbij de gevolgen voor het gehalte aan organische stof, omdat deze parameter onderdeel vormt van de toetsing op normen voor afzet van bodem-materiaal.

De modellering van bodemslib heeft verder tot een duidelijke spin-off geleid in de modellering van de waterkwaliteitsveranderingen bij kunstmatige infiltratie en zal hopelijk een dergelijk effect sorteren op de modellering van grondwaterstroming. De spin-off bestaat uit een vollediger begrip en betere ijking van het model van het hele systeem (bodem, water en chemie) en de afzonderlijke deelsystemen.

In navolging van de medische aanpak

De eerdere analogie van slib in watergangen met het multicausale hartinfarct stimuleert tot het volgen van de gangbare medische aanpak:

- Maak de anamnese, dat wil zeggen breng alle verschijnselen en achtergronden in kaart, zoals gebiedseigenschappen, hydrologie plas/watergang, slibverspreiding, chemie oppervlaktewater (inclusief zwevend stofgehalte, TOC en DOC!), slibeigenschappen, chemie grondwater en bodem onder slib;
- Stel de diagnose, met andere woorden bepaal de componenten waaruit het slib is opgebouwd, bepaal de ouderdom van het slib en deduceer uit het geheel welke de hoofdoorzaken zijn;
- Bepaal hoe urgent de situatie is op basis van hinder en verontreinigingsgraad van het slib, de ouderdom en groeisnelheid én de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater;
- Schrijf een recept uit voor de therapie, ofwel stel een actieplan op ten aanzien van het slib, met rekenschap van de urgentie.

Factoren die de hoeveelheid en kwaliteit van bodemslib in infiltratiebekkens beïnvloeden, zijn:

- de directe omgeving
 - samenstelling ondergrond van het slib en de bodem in omgeving van plas. Eerstgenoemde bepaalt aan de onderzijde de effecten van bijmenging van zand. Laatstgenoemde dicteert aan de bovenzijde de impact van de aanvoer via droge en natte depositie;
- de aanvoer van stoffen
 - via infiltratie- en regenwater. Cruciale parameters hierbij vormen de waterflux, het gehalte aan zwevend stof, AMIVE* en OMIVE*, de kalkagressiviteit en nutriëntenbelasting (van belang voor de algenbloei);
 - via droge depositie. Zie het eerste punt in dit kader, echter met speciale betekenis voor de lokale omgeving als donor van onder meer strooisel, bodemstof en stuifzand;
- de factor tijd
 - aantal of percentage vormingsjaren vóór de start van coagulatie in de voorzuivering. Een hoog percentage maakt infiltratieslib in het algemeen vuiler;
 - maximale ouderdom van het slib (tijd sedert eerste vorming). Een hogere ouderdom betekent in het algemeen meer accumulatie van AMIVE en OMIVE, in verband met een in de tijd afgenomen belasting via zowel de kunstmatige infiltratie als de atmosferische depositie. Wel bestaat de kans op meer uitloging van labiele organische stof en radio-actief verval. 'Aging' kan optreden, waardoor eerder vastgelegde stoffen juist moeilijker worden afgestaan aan de waterfase bij wisseling van omstandigheden;
- het fysisch-chemische milieu in de plas
 - waterdiepte. Deze bepaalt onder meer de lichtpenetratiediepte en temperatuur (daardoor de biologische productie), de sedimentatiekans en de gasuitwisseling (daardoor de aërobiegraad en vervluchtiging van OMIVE). De diepte is veelal te gering voor stratificatie in de zomerperiode;
 - aërobiegraad (redox milieu). Deze bepaalt de vorming en neerslag van sulfiden, de afbraaksnelheid van organisch materiaal (aëroob sneller dan anaëroob) en van OMIVE. De aërobiegraad wordt onder meer bepaald door de verhouding tussen verse toevoer en afbraak van organische materiaal, de verblijftijd van het water in het slib en de toevoersnelheid van oxidatoren;
 - kalkverzadigingsindex van infiltratiewater. Deze bepaalt hoeveel kalk er neerslaat of oplost;
- biota
 - begroeiing met riet en waterplanten, algengroei en microbiologische omzetting. Deze factor bepaalt onder meer de hoeveelheid droge depositie van atmosferische aerosolen en gassen, opslag in biomassa, doorwortelingsdiepte, bioturbatie, mate van bodemverstopping, productie en afbraak van dode biomassa, zuurproductie (waardoor kalk oplost), stikstof-fixatie en de mate van biogene ontharding (kalkaccumulatie);
 - bioturbatie. Door diverse graaforganismen (vooral wormachtigen) vindt vermenging plaats, ook met omhooggebracht onderliggend zand;
- de mens als beheerder
 - menselijke activiteiten. Droogzetten, ploegen, schrapen, plaggen, baggeren, mechanische verwijdering van riet en algen, beheer van de visstand en dergelijke.

* AMIVE/OMIVE = Anorganische/Organische MicroVerontreinigingen

Soms is 'geen ingreep (laten liggen)' beter dan het te verwijderen;

- Bepaal preventieve maatregelen, dat wil zeggen geef aan hoe slibaanwas en een ongunstige samenstelling te voorkomen zijn.

Preventieve maatregelen

De verdere zeespiegelrijzing zal de verslibbing van de open wateren van Nederland alleen maar verergeren. Maatregelen, ook in internationaal verband, zijn dringend vereist, want hun implementatie kost tijd. Daarbij is voorkomen beter dan genezen, omdat het zeer veel geld bespaart (de baggeraars en slibverwerkers ten spijt). De multicausaliteit van het probleem noopt tot een breed spectrum aan preventieve maatregelen, waarvan in onderstaande enkele mogelijkheden:

- erosiebestrijding in de stroomgebieden van Rijn, Maas en beken, met name in hun bovenloop;
- beperking van de lozing van eutrofiërende en zwevende stoffen in oppervlaktewater door (nog) verdere afvalwaterzuivering en hergebruik (bijvoorbeeld in landbouw en irrigatie van stadsparken);
- bestrijding van de opharding van het grote oppervlaktewater, onder andere door beperking van zuuremissies, verdroging en verzilting;
- verhoging (periodiek) van de waterdynamiek door afvoergolven in de benedenloop juist niet te bergen, zodat hun erosieve vermogen behouden blijft en het systeem periodiek dottert;
- wijziging van de 'aanleg' van het oppervlaktewatersysteem, zodanig dat zwevend

stof minder kans krijgt om zich te vormen (bijvoorbeeld door sturing van de mengverhouding van verschillende watertypen) en te bezinken, of juist daar bezinkt waar we willen (compartmenteren); en indien echt bewezen:

- vergroting van de tolerantie van rietbegroeiing in infiltrerende waterlopen, omdat riet de vertering van slib lijkt te bevorderen.

Stimulans voor waterschappen en overheden?

Het Easy-Leacher model is, met zijn slibmodule, gecalibreerd en gevalideerd op diverse situaties met kunstmatige infiltratie. Toch is de verwachting dat het prima werkt in de meeste situaties van infiltrerende watergangen en meren, en met enige aanpassingen ook in andere oppervlaktewatersystemen (zoals spaarbekkens). Daardoor is het ook een interessant instrument voor waterschappen en overheden, die voor een immens slibprobleem staan. ☛

Tabel 1: Gemiddelde chemische samenstelling van drie typen infiltratieslib en, ter vergelijking, gemiddeld slib uit kalkrijke duinmeertjes zonder kunstmatige infiltratie.

parameter	eenheid (drooggewicht)	infiltratieslib			slib duinmeertjes Wijk aan Zees ⁵⁾
		Enschede ³⁾	Zandvoort ⁶⁾	Zandvoort ⁶⁾	
generatie *		2c	2c	1c	nvt
droge stof	%	53	44	-	36
lutum	%	4.0	3.1	2.6	1.93
org. stof	%	6.9	2.8	7.1	17.3
org. koolstof	%	3.1	-	-	9.4
kalk	%	0.55	25.4	2.3	0.84
As	mg/kg	1.1	0.5	10	5.1
Cd	mg/kg	0.15	0.12	2.6	0.48
Cr	mg/kg	10.7	9.0	55.7	7.0
Cu	mg/kg	7.6	18.1	31.1	5.6
Fe	mg/kg	3790		4217	4719
Hg	mg/kg	0.03	0.09	1.23	0.05
Mn	mg/kg	36		176	51
Ni	mg/kg	8.8	3.7	29.3	5.1
Pb	mg/kg	10.5	7.2	108.2	34.9
Zn	mg/kg	31	47	613	114
EOX	mg Cl/kg	0.16	0.16	0.97	0.18
som PAK-EPA	mg/kg	0.35	0.09	4.7	1.07

*: 1c generatie = gevormd in periode met relatief geringe voorzuivering infiltratiewater;
2c generatie = gevormd in periode met relatief vergaande voorzuivering infiltratiewater

LITERATUUR

- 1) Bos S., E. van Beurden, E. van Dijk en J. Straathoff (2001). H₂O nr. 14/15, pag. 28-30.
- 2) KNCV (1992). Waterbodems te vies om aan te pakken? KNCV-symposiumreeks 5.
- 3) Stuyfzand P. (1998). Simple models for reactive transport of pollutants and main constituents during artificial recharge and bank filtration. In: Peters J. (ed). Artificial recharge of groundwater. Proceedings 3rd international symposium on artificial recharge in Amsterdam, pag. 427-434.
- 4) Stuyfzand P. (2001). Modelling the quality changes upon artificial recharge and bank infiltration: principles and user's guide of Easy-Leacher 4.6. Kiwa-report SWI 99-199 derde editie.
- 5) Stuyfzand P. en F. Lüers (2000). Balans van milieugevaarlijke stoffen in natuurterreinen met en zonder kunstmatige infiltratie. Kiwa-mededeling nr. 126.
- 6) Stuyfzand P. en M. Mosch (2000). Bodemslib in de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen: diagnose en prognose. Kiwa-rapport KOA 00.117.
- 7) Van den Bergen V., M. Kerkhoff en R. Wegman (1985). Onderwaterbodems, rol en lot. Proceedings symposium in Rotterdam. KNCV-sectie Milieuchemie.