



Jessica Thomas, TNO Bouw en Ondergrond, thans Wareco

Jasper Griffioen, TNO Bouw en Ondergrond

Gerard Klaver, TNO Bouw en Ondergrond

Milieugeochemische karakterisering van de waterbodems van de Dommel en de Dinkel

TNO heeft onderzoek verricht aan twee beken die door STOWA in 2005 zijn geclassificeerd als R6 (langzaam stromend riviertje op zand/klei) om de milieugeochemische eigenschappen van de waterbodems te karakteriseren in dit type. De achterliggende vraagstelling is of een regionale typologie van waterbodems mogelijk is. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de combinatie van vorm en samenstelling indicatief is voor de functie van een waterbodem bij de totstandkoming van de waterkwaliteit. Uit dit onderzoek blijkt dat heterogeniteit in chemische samenstelling bestaat op meerdere schalen in de waterbodem. Uit de data-analyse zijn drie regiogroepen met verschillende samenstellingen naar voren gekomen. Deze bevatten elk een set van vier à vijf factoren die de samenstelling van de waterbodem karakteriseren.

Vanwege de implementatie van huidige en komende regelgeving zou een typologische indeling van de waterbodems in Nederlandse stroomgebieden handig zijn. Dit om de rol van de waterbodems bij de totstandkoming van de oppervlaktewaterkwaliteit en de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater te herleiden. Zo'n typologie zou goed aansluiten bij huidige ontwikkelingen, zoals de opzet van de oppervlaktewatertypologie en de uitvaardiging van de Kaderrichtlijn Water om normen te stellen aan de ecologische kwaliteit van grond- en oppervlaktewater.

Het doel van dit onderzoek was het opstellen van een milieugeochemische karakterisering van de rol van de waterbodem in de onderzoeksgebieden, in termen van biobeschikbaarheid en nalevering van nutriënten en toxische stoffen. De Dommel en de Dinkel zijn geselecteerd om te bemonsteren, omdat de waterbodems van deze beken een vergelijkbare vorm hebben. Ze maken namelijk deel uit van watertype R6 van de STOWA-watertypologie¹ die gebaseerd is op de kenmerken stroomsnelheid, vorm, oppervlakte, geologische ondergrond en

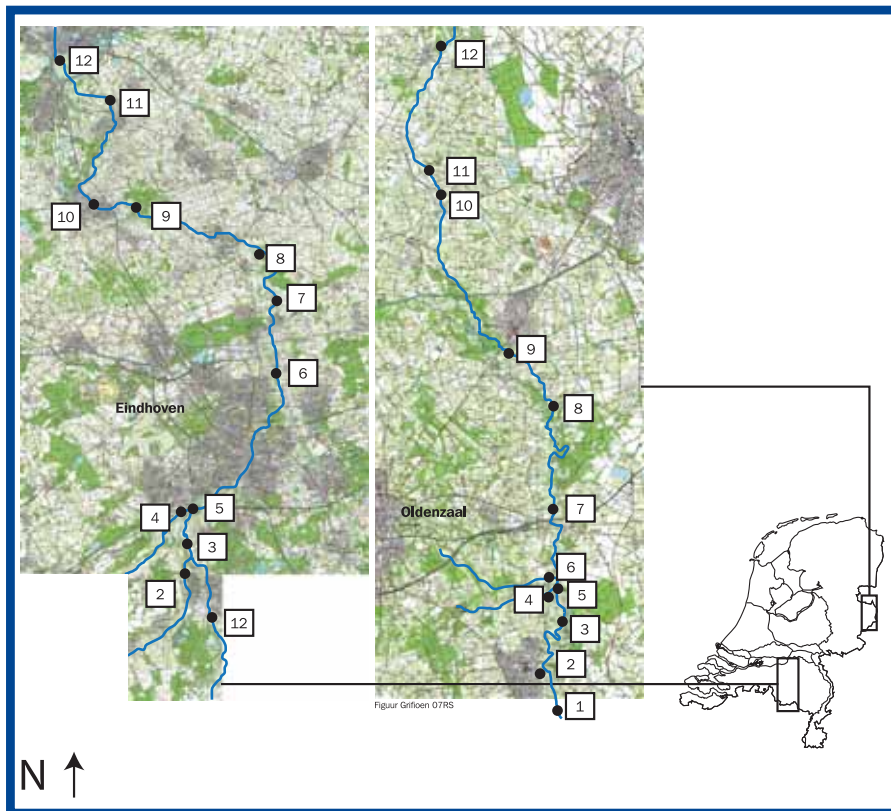
waterdiepte. Door naar de waterbodem binnen één watertype te kijken, kan worden geanalyseerd of binnen dit watertype variatie bestaat in de chemische samenstelling van de waterbodem en op welke schaal. Dit is voor de Dommel en de Dinkel mogelijk door overeenkomsten in hydromorfologische kenmerken van de watertypologie en verschillen in verontreiniging door landbouw en industrie.

Het onderzoek is verricht aan de Dommel en de zijbeken de Keersop en de Run. Daarnaast is de Dinkel met zijbeken de Elsbeek, de Bethlemsbeek en de Snoei-jinksbeek onderzocht (zie afbeelding 1). De oppervlaktewaterkwaliteit is ongetwijfeld van invloed op de samenstelling van de waterbodems. De Dinkel bevat water dat al jaren als schoon wordt geclassificeerd door het waterschap. De Dommel bevat echter antropogene vervuiling, veroorzaakt door met name landbouw en de zinksmelters in het grensgebied met België. Het oppervlaktewater is in beide beken ongeveer pH-neutraal en bevat chloridegehalten van gemiddeld 50-60 mg/l. De gemiddelde nitraatconcentratie bedraagt 5 mg/l en de gemiddelde fosfaatconcentratie 0,2-0,3 mg/l.

Naast het oppervlaktewater zal de onderliggende geologie ook van invloed zijn op de samenstelling van de waterbodems. Dit onderzoek is verricht in de vroeg-Holocene en Pleistocene zandgronden van Nederland. Zowel de Dommel als de Dinkel en hun zijbeken stromen door de Formatie van Boxtel en voornamelijk door de Holocene beekdalafzettingen van het Laagpakket van Singraven. De Formatie van Boxtel bestaat voornamelijk uit matig fijn tot matig grof zand en ziltig tot leemrijk zand. Het Laagpakket van Singraven bestaat uit matig fijn tot zeer grof, soms grindhoudend zand en zwak zandige leem en klei. Het sediment kan zwak tot sterk humeus ontwikkeld zijn². Dit zal voor een belangrijk deel het moeder-materiaal van de waterbodems zijn naast afstervend organisch materiaal.

Aanpak

In beide stroomgebieden zijn twaalf locaties geselecteerd en op elke locatie zijn vijf steken genomen met behulp van een zuigerboor. De steken zijn bemonsterd op meerdere dieptes bij gelaagdheid. Zo zijn in totaal 247 monsters genomen in maart/april 2007. De samenstelling van de waterbodems van de Dommel en de Dinkel



Afb. 1: Onderzoeklocaties in de stroomgebieden van de Dommel en de Dinkel.

is onderzocht door middel van verschillende analyses in het laboratorium: een korrelgrootteanalyse, een elementair koolstof- en zwavelanalyse en een thermogravimetische analyse (waarmee op basis van gewichtsverlies de gehalten organische stof en carbonaten bepaald worden). Daarnaast zijn een totaalontsluiting en drie extracties uitgevoerd met oxaalzuur, 0,43 M HNO₃ en citraat ascorbinezuur. De extractieoplossingen zijn middels routinetechnieken geanalyseerd, waarbij de extracties inzicht geven in de geobeschikbare gehalten. Statistiek is gebruikt om de significantie van de verschillen in samenstelling van de waterbodems in kaart te brengen. Enkele maanden na de bemonsteringsperiode is teruggegaan naar de onderzoeklocaties om te analyseren of aanwijsbare morfologische verschillen waren opgetreden in de waterbodems.

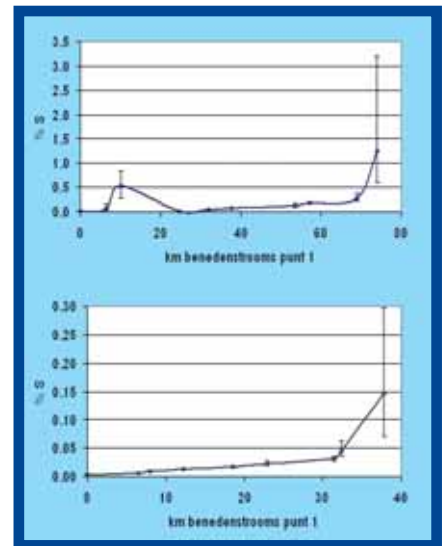
Waterbodemmateriaal

Dynamische systemen als de Dommel en de Dinkel zijn onderhevig aan variaties in de tijd. Een beek bezit een natuurlijke variatie, gebonden aan seizoenen en afvoer in transport van gesuspendeerd materiaal en waterkwaliteit. In de beekbodem bevinden zich macro-, meso- en microstructuren die veelal samenhangen met vegetatie. In de bemonsteringsperiode in maart en april was er weinig vegetatie op en in de oevers en waterbodems zelf aanwezig. In juni zijn de onderzoeklocaties opnieuw bezocht om veranderingen waar te nemen. Bovenstrooms van Eindhoven zijn de veranderingen in de waterbodem klein en lokaal sterk variabel. Benedenstrooms van Eindhoven lijkt de waterbodem onveranderd bij deze kwalitatieve waarneming. Dit is een verschil tussen de beekdelen. Op enkele

locaties bovenstrooms in de Dinkel is zoveel riet gegroeid dat ertussen veel fijn materiaal is afgezet en soms zelfs een zwarte modder is ontstaan. Benedenstrooms neemt dit af. De monsters zijn over het algemeen zandig, volgens de korrelgrootteanalyse bedraagt de gemiddelde zandfractie (> 63 µm) ruim 90 procent. De resterende tien procent wordt verdeeld over de siltfractie (8-63 µm) met een gemiddelde van zeven procent en de lutumfractie met gemiddeld bijna drie procent. Er komt gemiddeld slechts drie procent organische stof voor in de monsters. De maximale waarde bedraagt 57,8 procent, maar dit is een uitzondering: de 90-percentielwaarde van het gehalte organische stof is namelijk slechts 8,6 procent. Met een gemiddeld percentage van 0,59 procent CaCO₃ zijn de monsters kalkhoudend. Het gemiddelde percentage totaal zwavel bedraagt 0,14 procent. Er is relatief veel anorganisch zwavel ten opzichte van organisch zwavel aanwezig in de waterbodems van de Dommel en de Dinkel. Dit wordt geconcludeerd uit de gemiddelde C:S-verhouding die 15:1 bedraagt voor beide beken, wat veel lager is dan een typische C:S-verhouding van 100-200:1 voor jong, natuurlijk organisch materiaal. Het percentage amorf en metastabiel kristallijn sulfide varieert tussen 0,005 en 0,093 procent met een gemiddelde van 0,024 procent voor een deelset met meer dan 0,1 procent totaal zwavel.

Chemische samenstelling

De resultaten van de totaalontsluiting zijn vergeleken met de resultaten van analyses in het verleden uitgevoerd aan monsters genomen van het Laagpakket van Singraven en de totale Formatie van Boxtel²⁾. Voor de mediaanwaarden van aluminium, ijzer,

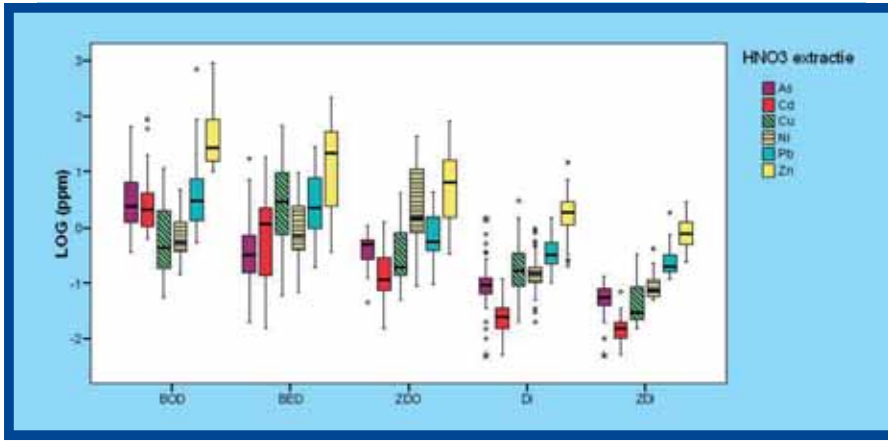


Afb. 2: Variatie langs de Dommel (boven) en de Dinkel (onder) ten opzichte van de variatie op elke locatie (verticale balken), voor het percentage totaal zwavel.

kalium en natrium geldt dat de gehalten in het moedermateriaal vergelijkbaar zijn met de gehalten gemeten in de waterbodems. De calcium-, magnesium-, fosfaat- en zwavelgehalten zijn net als de gehalten zware metalen wel duidelijk hoger in de waterbodems. Aan de hand van de chemische analyses kan met statistische methoden worden gezocht naar significante verschillen. Ten eerste is bepaald of de topmonsters op alle plekken duidelijk verschillend zijn van de totale set monsters. Dit bleek niet het geval, een dieptestratificatie ontbreekt op de centimeterschaal. De volledige dataset heeft een log-normale verdeling. Om de variatie binnen een onderzoeklocatie in kaart te brengen zijn meerdere stekingen genomen op elke locatie. Er bestaat op elke locatie een zekere heterogeniteit.

Interessant is de vraag hoe groot deze heterogeniteit is ten opzichte van die tussen de verschillende locaties in een bepaalde beek en tussen beekdelen. Ter illustratie staat in afbeelding 2 de variatie in totaalgehalte ijzer aangegeven voor de Dommel en de Dinkel. De gekleurde lijn geeft de gemiddelden aan en de verticale balken indiceren de maximale en minimale waarden. Deze figuur laat ook zien dat het gemiddelde gehalte ijzer toeneemt van de bovenloop naar de benedenloop; alle elementen vertonen dit verloop. De gemiddelden en standaarddeviaties zijn berekend van de verschillende locaties langs beide beken. Duidelijk is dat de variatie tussen de locaties groter is dan de variatie binnen een bepaalde locatie.

Hoe significant de verschillen tussen de verschillende metingen waren, is verder geanalyseerd. Een zogeheten fuzzy c-means clusteranalyse⁴⁾ is uitgevoerd om te zien of de monsters konden worden ingedeeld in relatief homogene groepen (de clusters) met elk een referentiesamenstelling, die ruimtelijk een logische indeling vormden. Op deze wijze, zonder het gebruik van voorkennis, kwam echter geen duidelijke indeling van de monsters naar voren. Een ruimtelijke indeling van de monsters, gemaakt met gebruik van voorkennis, kon



Afb. 3: Box-whiskerplots van de beschikbare fracties van arseen, cadmium, koper, nikkel, lood en zink (0,45 M HNO₃-extractie). Cirkels en sterren geven uitbijters en extremen aan.

BOD = bovenloop Dommel, BED = benedenloop Dommel, ZDO = zijbeken Dommel, DI = Dinkel, ZDI = zijbeken Dinkel.

worden getest op significantie. Gekozen is voor een indeling in vijf regionale groepen door de Dommel te splitsen bij Eindhoven en de zijbeken bij beide hoofdbekken apart te nemen. Met behulp van cumulatieve frequentiediagrammen, mediaanwaarden met 95 procent- betrouwbaarheidsintervallen, box-whiskerplots en ANOVA-testen⁵⁾, zijn verschillen gedetecteerd tussen de vijf ruimtelijke groepen. Afbeelding 3 toont als voorbeeld de box-whiskerplots voor de beschikbare (0,45 M HNO₃ geëxtraheerde) gehalten van enkele sporenelementen voor de vijf groepen. Met de post-hoc-test⁵⁾ wordt voor elke parameter geanalyseerd tussen welke groepen onderscheid bestaat. Zo ontstaan nieuwe sets variabelen die een bepaalde groepsindeling aangeven. Op basis hiervan is een herverdeling gemaakt van vijf naar drie regiogroepen met een vergelijkbare chemische samenstelling: de bovenloop van de Dommel, de benedenloop van de Dommel + de zijbeken de Run en de Keersop én de Dinkel + de zijbeken de Elsbeek, de Betlemsbeek en de Snoeijinksbeek.

Factoranalyse met behulp van twee verschillende datasets is toegepast om de opbouw van de chemische samenstelling van de waterbodembodem te achterhalen in elke van de drie groepen (tabel 1). De eerste dataset combineerde de hoofdbestanddelen (zoals lutum, kalk, oxalaat-extraheerbaar ijzer) met totaalgehalten aan sporenelementen en de tweede dataset combineerde de hoofdbestanddelen met de 0,45 M HNO₃ geëxtraheerde gehalten. De percentages verklaarde variantie waren met 79 tot 95 procent hoog voor alle factormodellen, wat betekent dat een groot deel van de variatie in de groepen door de factoren wordt verklaard. Uit de factormodellen blijkt dat de drie regiogroepen verschillende factoren bezitten en daarom zullen verschillen in reactiviteit. Fosfaat en sporenelementen zijn gebonden aan verschillende hoofdbestanddelen in de drie regio's. Arseen is in groep 1 en 2 geassocieerd met zwavel en in groep 3 met oxalaat-extraheerbaar ijzer. Cadmium en lood zijn in groep 1 geassocieerd met zwavel, in groep 3 met oxalaat-extraheerbaar

Tabel 1: De factormodellen voor de chemische samenstelling van de waterbodems voor de drie regiogroepen op basis van de twee onderscheiden datasets en met aanduiding van een niet-reactieve factor naast de reactieve factoren.

groep	factor
1: bovenloop Dommel	niet-reactief: Al, K, Na
	ox-Fe + totaal P, K, Ni en beschikbaar P
	S + beschikbaar As, Cd, Pb en Zn
	ox-Al, kalk, organische stof, Mg, Mn, S, totaalgehalten Cu, Ni, Pb, Zn
	Kalk, organische stof, zwavel, beschikbaar Ni
2: benedenloop Dommel + zijbeken Dommel	deels niet-reactief: Al, K, Na, Mn, Mg, kalk, organische stof
	ox-Fe + P
	natuurlijke verontreiniging: S + beschikbaar As en Ni en totaal Ni
	antropogene verontreiniging: beschikbaar Cd, Cu, Pb, Zn, P + totaal Cu, Pb, Zn en P
3: Dinkel + zijbeken Dinkel	niet-reactief: Al, Ca, K, Mg, Na
	ox-Fe + beschikbaar P en As (ofwel ox-Fe + oxyanionen)
	ox-Al, organische stof, S + beschikbaar Cd, Pb, P en totaal Pb (ofwel ox-Al + metalen)
	S, kalk + beschikbaar Cu, Ni, Zn

Al. Fosfaat is meestal geassocieerd met ox-Fe, maar in groep 3 ook met ox-Al. In groep 2 vormen de sporenmatalen en fosfaat een factor bestaande uit antropogene verontreiniging. De sporenelementen zijn dus lang niet altijd met lutum en organisch materiaal geassocieerd, zoals wel wordt aangenomen bij het omrekenen van de samenstelling van een waterbodembodem naar het standaardtype. Dit houdt in dat in het beheer mede rekening moet worden gehouden met lokale verschillen in reactiviteit.

Conclusie

Het lijkt haalbaar om een typologie van waterbodems op een regionale schaal toe te passen: regionale verschillen in samenstelling kunnen herleid worden. Er is echter ook heterogeniteit in samenstelling tussen verschillende locaties binnen een beek. Wateren die door STOWA ook als type R6 zijn geclassificeerd, bevatten waarschijnlijk waterbodems met dezelfde vorm en mogelijk ook een meer of minder vergelijkbare samenstelling. Het is nog een open vraag hoe deze verschillen zich verhouden met verschillen voor waterbodems behorend bij andere watertypen. De drie verschillende regiogroepen die naar voren zijn gekomen uit de data-analyse, bevatten elk een set factoren die de milieugeochemische samenstelling van de waterbodembodem karakteriseren. Zo kan de reactiviteit van de waterbodembodem ingeschat worden en kan met waterbeheermaatregelen beter worden ingespeeld op lokale omstandigheden. Dit onderzoek heeft één aspect beschouwd van de rol van de waterbodems in de totstandkoming van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Bij het opzetten van een typologie, zou aanvullend ook zeker gekeken moeten worden naar de rol van verschillende transportprocessen (kwel/infiltratie, diffusie, bioturbatie) in de stofuitwisseling. Bovendien is het goed om naar temporele variaties in chemische samenstelling van de waterbodems te kijken in geval van dynamische watertypen.

LITERATUUR

- 1) STOWA (2005). Overzicht natuurlijke watertypen.
- 2) De Mulder E., M. Geluk, I. Ritsema, W. Westerhoff en T. Wong (2003). De ondergrond van Nederland.
- 3) Heerdink R. en J. Griffioen (2007). De associatie van sporenelementen met hoofdcomponenten in sedimentafzettingen in de ondergrond van Noord-Brabant en het noorden van Limburg. TNO Bouw en Ondergrond. Rapport 2007-U-R1013/A.
- 4) Van den Brink C, G. Frapporti, J. Griffioen en W. Zaadnoordijk (2007). Statistical analysis of anthropogenic versus geochemical-controlled differences in groundwater composition in The Netherlands, J. Hydrol. 336, pag. 470-480.
- 5) Statistical Package for the Social Sciences (2007). Version 15.0. SPSS Inc.