



Johan Valstar, Deltares

Eric van Nieuwkerk, Deltares

Annemarie Marsman, Deltares

Willem van Hattem, Havenbedrijf Rotterdam

# Gebiedsgericht grondwaterbeheer voor de haven van Rotterdam

**In de praktijk blijkt het lastig te zijn om gebieden met grootschalige bodem- en grondwaterverontreinigingen in het kader van de Wet bodembescherming (Wbb) effectief aan te pakken. Enerzijds blijkt het moeilijk om de aard en omvang van de verontreiniging in beeld te brengen en is de veroorzaker vaak niet traceerbaar of niet meer aansprakelijk te stellen. Anderzijds blijken de (maatschappelijke) kosten voor het volledig opruimen extreem hoog te zijn en wegen zelden op tegen de baten. Toch levert de verontreiniging, zeker op de langere termijn, risico's op voor het bodemgebruik en de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Voldoende redenen om toch actie te ondernemen.**

In de haven van Rotterdam wordt gewerkt aan een gebiedsgerichte aanpak van grondwaterverontreiniging, waarbij de veerkracht van het bodemsysteem optimaal wordt benut. In de afgelopen jaren is veel onderzoek verricht naar de risico's van de verontreinigingen. Binnen het vijfde kaderproject WELCOME van de Europese Unie en vervolprojecten<sup>1)</sup> werkten TNO Bouw & Ondergrond (thans deels opgegaan in Deltares) en Havenbedrijf Rotterdam samen met onder andere Royal Haskoning, Gemeentewerken Rotterdam, DCMR, Ministerie van VROM, Rijkswaterstaat, SKB en de belanggenorganisatie van het havenbedrijfsleven Deltalinqs een gebiedsgerichte aanpak uit. Daarbij zijn methodes ontwikkeld om de risico's op gebiedsniveau in beeld te brengen. De aanpak blijkt goed inpasbaar te zijn bij de doelstellingen van het Nationaal Bestuursakkoord Water, de Kaderrichtlijn Water (en dochterrichtlijn grondwater) en zelfs de Wet bodembescherming<sup>2),3)</sup>.

## Gebiedsgericht grondwaterbeheer

In tegenstelling tot de huidige gevalsgerichte aanpak binnen de Wet bodembescherming staan bij gebiedsgericht grondwaterbeheer de risico's in de ontvangende waterlichamen (grond- of oppervlaktewater) centraal. Bij de traditionele aanpak worden voor afzonderlijke bronnen van verontreiniging de verspreidingspaden en de receptor of bedreigd object in beeld gebracht. De gebiedsgerichte aanpak draait dit om en bekijkt vanuit de receptor welke bronnen daadwerkelijk een bedreiging vormen en op welke termijn. De gebiedsgerichte aanpak maakt het tevens mogelijk om ruimtelijke ontwikkelingen (bijvoorbeeld herontwik-

keling van bedrijfslocaties), het waterbeheer en het gebruik van de ondergrond hand in hand te laten gaan met het wegnemen van de risico's van de grootschalige grond- en grondwaterverontreinigingen.

- Ten eerste wordt het zelfreinigende vermogen van de bodem beter benut doordat men de gebiedsgrens van het havengebied (en niet de terreingrens van individuele bedrijfslocaties) gebruikt bij het bepalen van de risico's. Verontreinigingen hoeven alleen te worden aangepakt als ze op termijn de gebiedsgrens dreigen te passeren. De ondergrond onder de haven wordt beschouwd als reactorvat. Aangezien de reistijd van de verontreinigingen tot aan de gebiedsgrens voor de meeste locaties veel groter is dan tot aan de terreingrens, is er meer tijd voor biologische afbraak. Daarmee kunnen veel ruimere saneringsdoelstellingen worden gehanteerd ten aanzien van zowel de starttijd van sanering als de maximaal toelaatbare restconcentraties;
- De aanpak maakt een 'gecombineerde strategie' mogelijk, die bestaat uit een gevalsgerichte aanpak van de bovengrond (globaal bovenste vier of vijf meter) en een gebiedsgerichte aanpak van het diepe(re) grondwater. Monitoring en pluimbeheersing en/of -sanering kunnen daarbij gezamenlijk worden opgepakt, hetgeen zal leiden tot kostenbesparing.

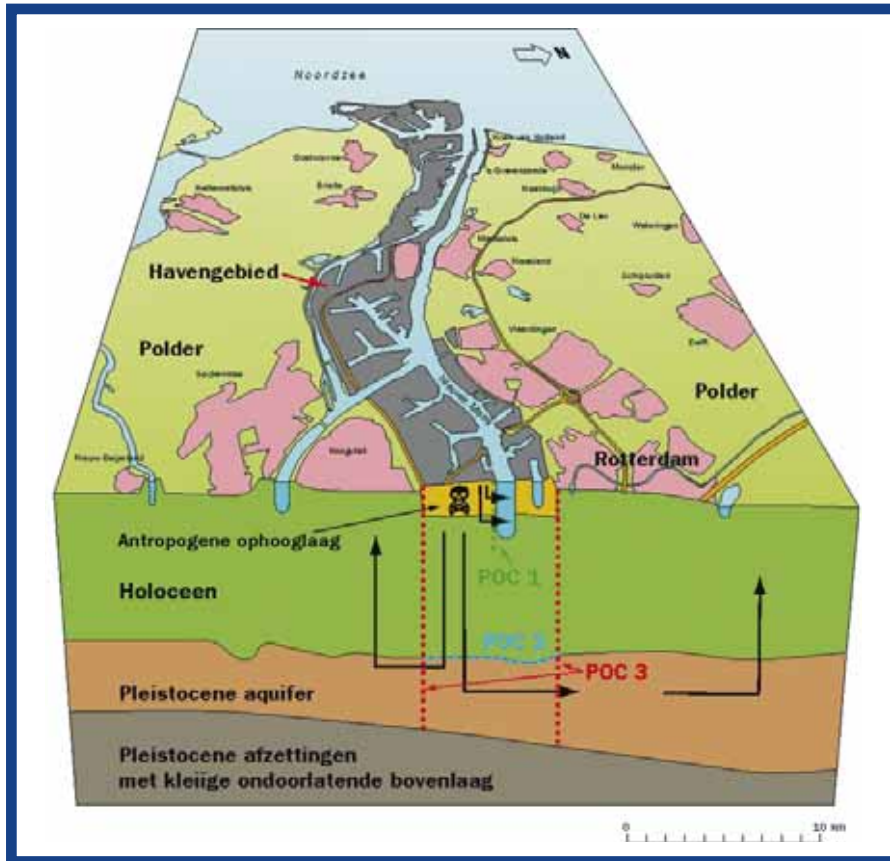
Voor deze systematiek is een goed conceptueel model nodig dat de situatie in het gebied gedegen beschrijft.

## Conceptueel model (geohydrologie en -biochemie)

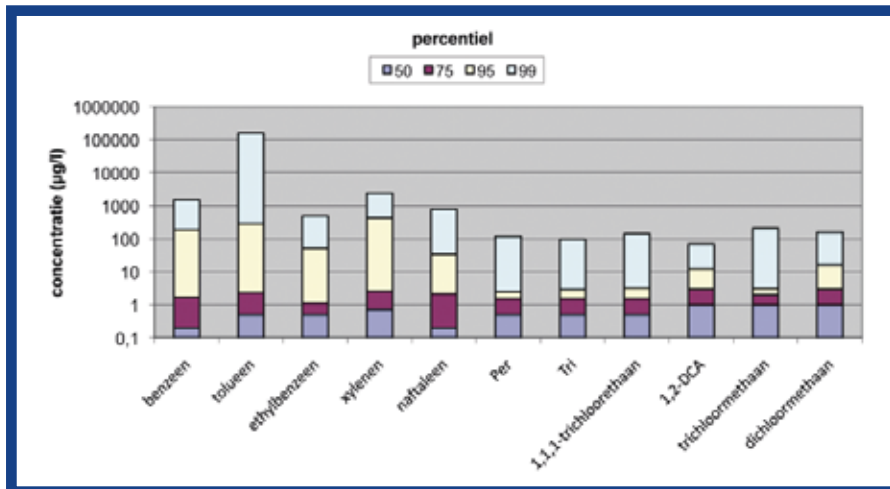
In het Rotterdamse havengebied is bij de ontwikkeling een antropogene ophooglaag aangebracht op de Holocene deklaag. Ook is verticale drainage toegepast in de vorm van zandpalen, die in de huidige situatie leiden tot versnelde afstroming van infiltrerend water naar het diepe grondwater. Het gebied ligt buitendijks en heeft een maaiveldhoogte die varieert van circa NAP +4 m in het oostelijk deel tot circa NAP +6 m in het westelijk deel. Een flink deel van de neerslag wordt via verhard oppervlak en lokale afwateringstelsels afgevoerd. Het deel van de neerslag dat het grondwater aanvult (neerslagoverschot), stroomt voor een klein deel via de ophooglaag en het bovenste deel van de Holocene deklaag naar het omliggende oppervlaktewater van de haven. Het grootste deel van het neerslagoverschot stroomt af naar het Pleistocene watervoerende pakket op ongeveer NAP -20 m tot NAP -35 m.

Midden in het havengebied ligt een waterscheiding. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket stroomt deels naar het noorden en deels naar het zuiden af (zie afbeelding 1). Daar kwelt het op in het oppervlaktewater van de diepergelegen poldergebieden of stroomt naar de grondwateronttrekking van DSM-Gist in Delft. De reistijden van deze diepe stroombanen bedragen tientallen tot enige honderden jaren.

Verontreinigingen die zijn opgelost in het grondwater, stromen met het grondwater mee, maar zijn onderhevig aan verschil-



Afb. 1: Ligging van de grensvlakken.



Afb. 2: Kansverdeling van verschillende grondwaterverontreinigingen, voor het industrietype raffinaderij.

lende biologische en chemische processen in de ondergrond. Daarbij zijn de heersende geochemische omstandigheden in de Holocene deklaag en het eerste watervoerende pakket van belang en dan in het bijzonder de redoxomstandigheden. De lange reistijd van het grondwater in het havengebied zorgt er onder meer voor dat een groot deel van de verontreinigingen in de Rotterdamse haven door natuurlijke afbraak vermindert. Het gaat daarbij om de organische verbindingen die bij diverse industriële activiteiten in de bodem zijn terechtgekomen.

**Uitwerking**

Om de risico's voor verspreiding van de verontreinigingen naar het grond- en oppervlaktewater te kwantificeren, zijn deze

voor drie denkbeeldige grensvlakken in beeld gebracht. Deze grensvlakken worden aangeduid als *Planes of Compliance* (PoC) (zie afbeelding 1): PoC 1 is het grensvlak tussen havengebied en het direct omliggende oppervlaktewater, PoC 2 is het grensvlak tussen Holocene deklaag en het Pleistocene watervoerende pakket en PoC 3 is de grens van het havengebied.

Voor deze grensvlakken zijn de risico's op overschrijding van de interventiewaarde bepaald voor een aantal maatgevende verontreinigingen, te weten BTEX, PER, TRI, CIS, VC, 1,1,1-trichloorethaan, 1,2-dichloorethaan, trichloormethaan, dichloormethaan en naftaleen. Ook zijn de effecten van eventuele saneringsmaatregelen, zoals bronverwijdering en gestimuleerde afbraak, bepaald.

**Modellering**

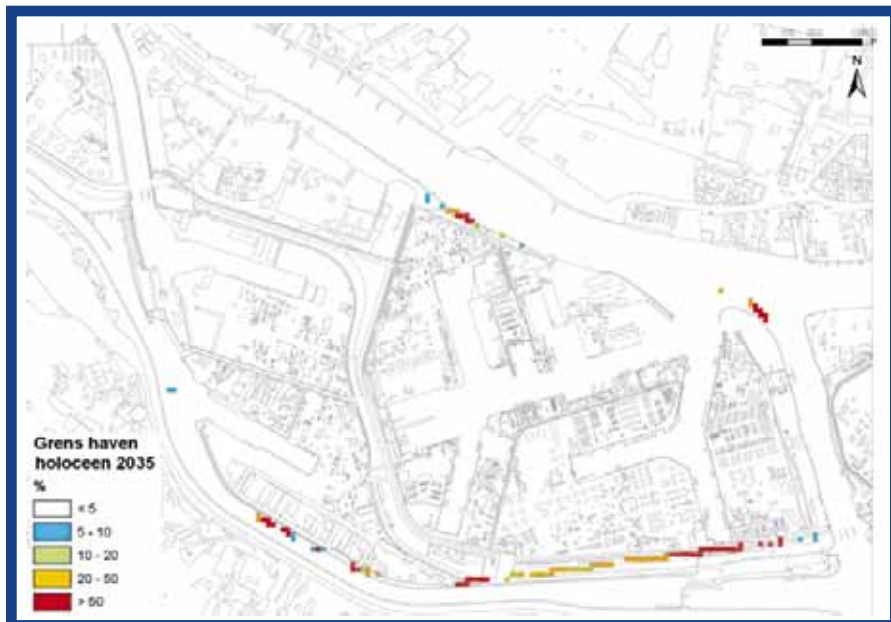
Het gebruik van gangbare stoftransportmodellen als RT3D vergt voor de schaal van het hele havengebied enorm veel reken-capaciteit en is daardoor niet haalbaar. Daarom is er voor gekozen het transport met een stroombaananalyse uit te voeren. Hierin zijn de effecten van retardatie, redoxafhankelijke natuurlijke afbraak, zoet-zoutgrenzen, alsmede voorkeurstroming door zandpalen meegenomen. Processen als het opdrogen van verontreinigingsbronnen, dispersie en diffusie zijn niet meegenomen (conservatieve aanname). Dit geldt ook voor de effecten van de afbraak van de verontreinigingen op de redoxcondities. Dit effect is meestal klein in vergelijking met het effect op de redoxcondities door de afbraak van organisch stof dat van nature in de bodem zit.

Met een grondwatermodel (Modflow) zijn eerst de stroombanen vanuit de antropogene ophooglaag inclusief de reistijd bepaald. Bij de bron wordt aangenomen dat vanaf het begin van de industriële activiteit een opgeloste verontreiniging met constante concentratie start. De massaflux wordt dan bepaald uit de concentraties en de grondwaterflux. Vervolgens nemen de concentraties af langs de stroombaan door eerste orde biologische afbraak. Deze afbraak is afhankelijk van de redoxconditie, de daarbij behorende afbraakconstante voor de betreffende verontreiniging en de verblijftijd in de opgeloste fase in iedere cel. Tenslotte wordt op iedere modelcel op de PoC's bijgehouden wat de maximumconcentratie en aankomsttijd per stof is, of deze een norm (Interventiewaarde) overschrijdt en wat de massaflux van de verontreiniging is.

**Onzekerheden**

Kenmerken voor grootschalig verontreinigde gebieden is de grote mate van onzekerheid over de bronnen van verontreiniging, de geohydrologie en de natuurlijke afbraak. Bij het bepalen van de risico's is het van belang dat met deze onzekerheden rekening wordt gehouden, wat slechts beperkt mogelijk is met de traditionele grondwatermodelaanpak. Gekozen is om hiervoor een Monte Carlo-simulatie uit te voeren. Hierbij wordt een groot aantal scenario's doorgerekend, waarbij de waarden van onzekere en gevoelige modelparameters in elk scenario binnen bepaalde grenzen worden gevarieerd op basis van een bijbehorende kansverdeling. De spreiding in de modeluitkomsten die dit oplevert, geeft aan hoe groot de onzekerheid van de modeluitkomsten is. De onzekere en gevoelige modelparameters die variëren in de Monte Carlo-simulatie, zijn de verdeling van de verontreinigingen in de bronzones (bronkarakterisatie), de redoxconditie-afhankelijke afbraakconstante van elke stof én de eigenschappen en effecten van de zandpalen (versnelde verticale verspreiding).

De verdeling van verontreinigingen in de bronzones (zie hierna) en de heersende redoxcondities zijn afgeleid uit veldmetingen. De kansverdelingen van de afbraakconstanten zijn geïnventariseerd



Afb. 3: Kans dat verontreinigingen tussen 2008 en 2035 langs de gebiedsgrens doorbreken met een concentratie hoger dan de interventiewaarde.

via literatuuronderzoek en oordelen van deskundigen.

### Bronkarakterisatie

In de praktijk blijkt dat bij grootschalig verontreinigde gebieden de aard en omvang van alle bronnen en pluimen lang niet altijd exact bekend is (ondanks uitvoerig bodemonderzoek). Het vaststellen van de risico's van een grootschalig verontreinigd gebied is daardoor op basis van traditioneel bodemonderzoek niet goed mogelijk. Er is een nieuwe methodiek ontwikkeld, waarbij de bronkarakterisatie wordt gedaan op basis van de bedrijfsactiviteiten. Allereerst zijn enkele maatgevende industrietypen gedefinieerd: raffinaderijen, opslag van petroleum en chemicaliën, chemische fabrieken, droge bulkoverslag / containeroverslag en een restcategorie. Met behulp van de verontreinigingsgegevens van het bodeminformatiesysteem van het Havenbedrijf Rotterdam zijn vervolgens kansverdelingen gemaakt per industrietype van concentraties van gebruikte stoffen of stofgroepen bij die bedrijfsactiviteit.

Ter illustratie is in afbeelding 2 een verdeling gegeven voor het industrietype raffinaderij. Bronzones die goed bekend en beschikbaar gesteld zijn (uit gedegen bodemonderzoek), kunnen als 'harde' concentraties in het model worden ingevoerd als verontreinigingsbron.

### Resultaten

Voor de verschillende PoC's is de kans op overschrijding van een interventiewaarde in de loop van de tijd en de gemiddelde massaflux bepaald:

- Voor PoC 1 (verspreiding naar de rivier en havens) is gekeken wat de gemiddelde grondwaterflux naar het oppervlaktewater is. Met een oppervlaktewatermodel zijn de concentraties van de betreffende stoffen in het oppervlaktewater berekend. Daarbij is de emissie vanuit grondwater vergeleken met andere bronnen, zoals directe puntlozingen, atmosferische depositie en

aanvoer vanuit het bovenstroomse deel van de rivieren. Hieruit blijkt dat voor de meeste beschouwde stoffen de bijdrage vanuit het grondwater gering is. Voor geen van de onderzochte stoffen geldt dat de MTR-norm wordt overschreden in het oppervlaktewater. Dit kan grotendeels worden toegeschreven aan verdunning en vervluchtiging.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het uitvoering van grondwatersanereringen in het Rotterdamse havengebied geen significant effect zal hebben op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Alleen oliehoudende drijfvlagen die als puur product kunnen uittreden naar het oppervlaktewater, vormen hierop een uitzondering en zijn in potentie een risico.

- Voor PoC 2 (verticale verspreiding naar het eerste watervoerende pakket, direct onder de haven) geldt dat de doorbraak naar het eerste watervoerende pakket toeneemt van zes procent in 2000 tot twaalf procent in 2050. Bronverwijdering blijkt pas na meer dan 30 jaar een significante verbetering te bewerkstelligen. Alleen bronverwijdering zorgt dus onvoldoende voor een trendomkering en voor onvoldoende verbetering van het eerste watervoerende pakket in de filosofie van de Kaderrichtlijn Water. Met behulp van het overigens beperkt inzetten van aanvullende maatregelen, zoals gestimuleerde afbraak in de Holocene deklaag, is deze trendomkering wel binnen 30 jaar te bereiken.
- Voor PoC 3 (verspreiding tot buiten de gebiedsgrens via het eerste watervoerende pakket) zijn de kansverdelingen van overschrijding van de interventiewaarde voor een aantal tijdstippen bepaald. In afbeelding 3 is dit voor een deel van de Rotterdamse Haven (de Botlek) in beeld gebracht. De informatie kan worden gebruikt om te achterhalen waar 'end-of-pipe'-maatregelen en monitoring

eventueel zinvol zou kunnen zijn (namelijk in de zones met verhoogde kans op doorbraak van verontreinigingen van bijvoorbeeld meer dan tien procent).

Wat verder uit het onderzoek volgt, is dat de onzekerheid van biologische afbraakparameters en de startconcentraties de meeste onzekerheid in de modeluitkomsten geven. Die zijn dus sterk bepalend voor de uitkomsten. Voor een vergroting van de betrouwbaarheid van de modeluitkomsten is gericht onderzoek naar de natuurlijke afbraakpotentie dan ook van groot belang. Dit onderzoek is inmiddels in uitvoering. De resultaten zullen worden gebruikt om het model te verbeteren en nieuwe berekeningen uit te voeren

### Implementatie in de praktijk

Nu de risico's van de grondwaterverontreinigingen en effecten van maatregelen op de receptoren (diepe grondwater en oppervlaktewater) in beeld zijn gebracht, kan de gebiedsgerichte aanpak verder vorm gegeven worden. Een aanzienlijke kostenreductie is mogelijk ten opzichte van de gevalsgerichte aanpak in de Wet bodembescherming door gebruik te maken van de natuurlijke afbraak en mogelijkheden om saneringen gecombineerd aan te pakken. Havenbedrijf Rotterdam zal als grootgrondbezitter naar verwachting het beheer van de grondwaterverontreinigingen gaan verzorgen. Met de bedrijven wordt een afkoopregeling voor de pluimen in de ondergrond getroffen. De kosten zullen aanzienlijk minder bedragen dan wanneer de bedrijven conform de gevalsgerichte benadering in de Wet bodembescherming de verontreinigingen aanpakken.

Alleen de bronnen waarvoor de kans bestaat dat ze ooit tot buiten de gebiedsgrens een onacceptabele verontreinigingssituatie veroorzaken, worden gesaneerd. Verder zal een uitgebreid monitoringsprogramma worden opgezet om vinger aan de pols te houden gedurende de gebiedsgerichte aanpak, die 30 jaar zal duren. Een belangrijk aandachtspunt daarbij is dat een duidelijk wettelijk toetsingskader om te bezien of de het gebiedsgerichte grondwaterbeheer succesvol verloopt, op dit moment nog ontbreekt.

### LITERATUUR

- 1) Royal Haskoning en TNO (2007). Gebiedsgerichte aanpak Rotterdamse havengebied. Pilot Botlek. SKB. Project PP6331.
- 2) Cramer J. (2008). Brief aan Tweede Kamer over bodemsanering.
- 3) Nieuwenhuis R. en H. van Duijne (2008). MEEUW de rol van MEgasites en steden binnen de ontwikkeling van het EU Waterbeleid, deelrapport 2: beheer van grootschalige grondwaterverontreiniging in relatie tot de grondwaterrichtlijn. SKB.