



Johan Oost, HKV Lijn in water  
Arjen Hoekstra, Universiteit Twente

# Schadereductie door compartimentering in een dijkringgebied

**Compartimentering van dijkringen wordt momenteel gezien als één van de mogelijke opties om het risico van overstromingen te beheersen of te verminderen. Recentelijk zijn verschillende studies verschenen naar de effectiviteit van het opdelen van een dijkringgebied door middel van compartimenteringsdijken. Deze studies wijzen uit dat de totale schade na een overstroming inderdaad kleiner kan zijn, maar dat lokaal deze ook groter kan uitvallen<sup>1)</sup>. De beschikbare studies naar compartimentering beschouwen meestal maar één bepaald patroon van de dijken in het betreffende gebied. Dit artikel doet verslag van een onderzoek naar strategieën die gebaseerd zijn op verschillende configuraties van compartimenteringsdijken. We onderzoeken niet alleen de effecten bij de meest waarschijnlijke overstromingsscenario's, maar ook bij het slechts denkbare scenario, waarbij het water van alle zijden het dijkringgebied in kan stromen. De inrichting van het gebied bepaalt mede de effectiviteit van de strategie. Dijkring 14, dat delen van Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht beslaat, is als toepassingsgebied gekozen.**

Compartimentering is het opdelen van een geheel in afzonderlijke onderdelen (compartimenten). Het doel hiervan is de effecten van een verstoring te verminderen. Bij een calamiteit raakt niet het geheel verloren of beschadigd, maar slechts een deel. Tevens wordt tijd gewonnen om maatregelen te nemen om erger te voorkomen. Het idee van compartimentering is een bekend concept in de veiligheids wereld. In een gebouw worden bijvoorbeeld brandwerende scheidingswanden geplaatst om te voorkomen dat de brand, die in één deel van het gebouw ontstaat, doorslaat naar een ander deel. Schepen worden vaak uitgevoerd met een dubbele wand om te voorkomen dat het ruim volstroomt als een lek in de buitenwand ontstaat. Tegelijk zorgt zo'n dubbele wand ervoor dat een eventueel giftige lading binnenboord blijft. In een bank zijn kluizen aanwezig om waardevolle goederen te beschermen tegen inbrekers of brand. En hulpverleners dragen speciale kleding en zuurstofmaskers als giftige stoffen in het milieu terechtkomen. Uit bovenstaande voorbeelden blijkt dat verschillende strategieën van compartimentering bestaan, waarbij de configuratie van de compartimenten van belang is. Drie fundamenteel verschillende strategieën zijn gedefi-

niërd en toegepast voor de veiligheid van een dijkringgebied tegen overstromingen. De externe bedreiging is het falen van de primaire kering, zodat het water binnenstroomt.

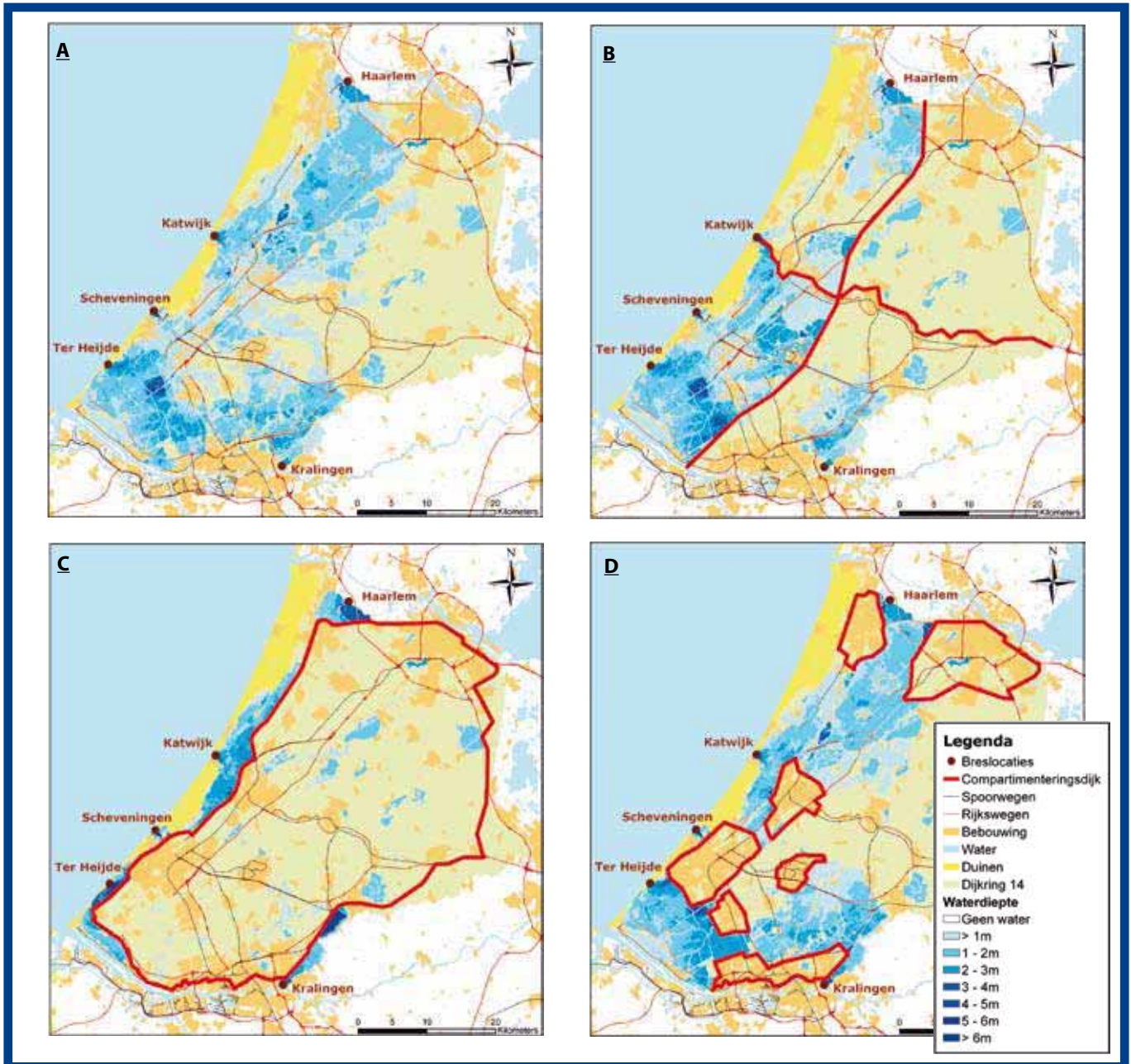
De eerste strategie is de partiestrategie (zoals bij het opdelen van een gebouw voor brandveiligheid). Voor een dijkringgebied betekent dit het opdelen van het gebied in een aantal min of meer even grote compartimenten, waarbij ieder compartiment een ongeveer gelijke kans op overstroming heeft. Welk compartiment zal overstromen, hangt af van de breslocatie in de primaire kering. De tweede strategie is de dubbelwandstrategie, die in het geval van overstromingsveiligheid de vorm krijgt van een secundaire kering achter de primaire. De kans op overstromen is per compartiment verschillend: de kans dat het gebied tussen de primaire en secundaire kering overstroomt, is groter dan die van het gebied achter de secundaire kering. Tenslotte is er de waardebeschermingsstrategie (vergelijk met een kluis, veiligheidskleding of zuurstofmasker). In het geval van overstromingsveiligheid worden de meest waardevolle gebieden binnen een dijkkring apart omdijkt. De kans dat de omdijkte gebieden overstromen, is kleiner dan de kans dat de rest van het dijkringgebied

overstroomt. Deze strategie van de waardebescherming is vergelijkbaar met de oude strategie van terpen.

## Overstromingsrisico's

In de risicoliteratuur worden verschillende definities van risico gebruikt. Volgens de meest gangbare definitie, die tevens wordt gebruikt in de studie Veiligheid Nederland in Kaart, is risico gelijk aan 'kans maal gevolg'<sup>2)</sup>. In lijn met de Wet op de Waterkering is het Nederlandse beleid vooral gericht op het beheersen van de kans op overstromen en wordt geen speciale aandacht geschonken aan de mogelijke gevolgen bij een eventuele overstroming. De afgelopen jaren laten echter een toenemende belangstelling zien voor de gevolgenkant. Studies naar de gevolgen richten zich meestal op drie indicatoren: getroffen en slachtoffers en (directe en indirecte) economische schade.

De meeste studies naar mogelijke overstromingsschade in Nederland richten zich voornamelijk op de schatting van de gevolgen bij de meest waarschijnlijke overstromingsscenario's. Dat is begrijpelijk, omdat de gevolgen bij deze scenario's over het algemeen de grootste bijdrage leveren aan het totale overstromingsrisico binnen een dijkkring. De meer extreme, maar minder waarschijnlijke overstromingen



Afb. 1: De maximale inundatiediepten in het slechtst denkbare scenario voor de verschillende compartimenteringsstrategieën (rode lijn): a) de nulsituatie, b) de partitie-strategie, c) de dubbelwandstrategie en d) de waardebeschermingstrategie. De punten geven de breslocaties aan.

zullen weliswaar tot grotere schade leiden, maar vanwege de kleine bijbehorende kansen is er nauwelijks invloed op het totale risico<sup>2)</sup>. Toch is het zinvol om deze overstromings-scenario's mee te nemen. Een overstroming is immers niet uit te sluiten. Net als bij 'externe risico's' (risico's voor de omgeving bij gebruik, opslag en vervoer van gevaarlijke stoffen) is het bij overstromingen relevant om gebeurtenissen met grote aantallen slachtoffers te voorzien en te voorkomen<sup>3)</sup>.

In dit onderzoek besteden we aandacht aan het 'systeemrisico' van een overstroming in dijkkring 14. Het begrip systeemrisico komt uit de financiële sector en wordt gebruikt voor gebeurtenissen die een hele financiële markt te gronde kunnen richten in plaats van een beperkt aantal deelnemers<sup>4)</sup>. Grote overstromingen vormen een systeemrisico, omdat het functioneren van een hele regio verstoord kan raken<sup>5)</sup>. Hierbij ligt de nadruk op de potentieel grote gevolgen om de kwets-

baarheid van een systeem te beschrijven. Deze benadering wijkt dus af van de klassieke 'kans maal gevolg'. Aangezien compartimentering vooral de gevolgen van een overstroming vermindert, staat de reductie van die gevolgen centraal in het onderzoek.

**Overstromingsscenario's dijkkring 14**

Bij het bepalen van een geschikte compartimenteringsstrategie voor de hele dijkkring, is ervoor gekozen om naar de locaties van de potentiële dreiging te kijken. Aangezien het water rondom het gebied hoger ligt dan het gebied zelf, zijn vijf breslocaties gekozen (afbeelding 1a) die liggen aan verschillende zijden van dijkkring 14. Zodoende wordt vermeden dat het water via een achterdeur alsnog op locaties komt die niet voorzien zijn. Voor de bresgroei en de overstromingsberekeningen is SOBEK 1D2D van WL|Delft Hydraulics gebruikt, met de dijkkring 14 schematisatie van Veiligheid Nederland in Kaart. Zeven overstromingsscenario's (A t/m

G) zijn bepaald gebaseerd op de breslocaties. Vier scenario's hebben slechts één breslocatie; twee scenario's bestaan uit respectievelijk twee en drie breslocaties. In het slechtst denkbare scenario van dit onderzoek stroomt het water door alle vijf breslocaties het dijkkringgebied binnen. De bres eigenschappen en de hydraulische randvoorwaarden blijven gelijk voor elk overstromingsscenario, alleen worden in het dijkkringgebied compartimenteringsdijken geplaatst.

Het aantal getroffen en de economische schade zijn berekend met de schade- en slachtoffermodule van het hoogwaterinformatiesysteem (HIS-SSM). In dit artikel kijken we alleen naar de getroffen, waarbij een getroffen een persoon is die zich in het overstromde gebied bevindt.

**Uitwerking**

Elk van de drie compartimenteringsstrate-

gieën is uitgewerkt voor dijkkring 14, waarbij zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van bestaande lijnelementen, zoals (spoor)wegen, regionale keringen en boezems. Deze liggen al in het landschap, maar moeten wel op hun nieuwe functie als compartimenteringsdijk worden aangepast. Om tot een goede vergelijking van de strategieën te komen, hebben we aangenomen dat de compartimenteringsdijken hoog en sterk genoeg zijn om het water te keren. Aangezien het inzicht in de effecten van verschillende compartimenteringsstrategieën het doel was van het onderzoek, worden er geen uitspraken gedaan over de economische en maatschappelijke haalbaarheid.

De partiestrategie is vormgegeven door in het dijkkringgebied twee dijken in een kruisvorm aan te leggen (bij elkaar 120 km). De aangelegde dijk van oost naar west bestaat uit de dijken rond de Oude Rijn, die op dit moment wordt versterkt tot compartimenteringsdijk. Voor de dubbelwandstrategie zijn lijnelementen gezocht die zo dicht mogelijk achter de primaire dijken liggen. De afstand tussen de primaire dijk en de compartimenteringsdijk verschilt en tevens loopt een deel van de dijk door stedelijk gebied, omdat sommige steden (zoals Den Haag en Rotterdam) direct tegen de primaire keringen zijn gebouwd. De lengte van de aangelegde dijken bedraagt 194 km. Voor de waardebescherminstrategie is de keuze gemaakt om compacte steden met ongeveer 100.000 inwoners en Schiphol extra te beschermen. Bij de implementatie van deze strategie zijn dijken geplaatst in stedelijk gebied. Voor deze strategie is in totaal 247 km aan dijken aangelegd. Deze grote lengte hangt samen met het feit dat de waarde in dijkkring 14 is verspreid over een groot aantal kernen, waardoor veel gebieden worden omdijkt.

## Resultaten

De kaarten laten per strategie de maximale inundatiediepten zien van het slechtst denkbare scenario (zie afbeelding 1). Het overstromde oppervlak verschilt per strategie. In de nulsituatie (zonder compartimenten) overstroomt in dit scenario ongeveer 40 procent van het dijkkringgebied. In het geval van de partitie- en waardebescherminstrategie is dat ongeveer 30 procent, terwijl dit bij de dubbelwandstrategie slechts 10 procent is. De grootste inundatiedieptes zijn te vinden

in oude droogmakerijen: Haarlemmermeerpolder, Zuidplaspolder en Alexanderpolder. Water, dat bij de bres bij Katwijk of het Noordzeekanaal binnenkomt, stroomt richting de Haarlemmermeerpolder. Water door bressen in het zuidelijke deel van het dijkkringgebied loopt naar het laaggelegen deel bij Rotterdam, waardoor er vanaf de kust een stroom loopt van west naar oost. De inundatiedieptes in de oudere (binnen) steden, zoals Haarlem, Delft en Leiden blijven relatief klein en dit geldt ook voor delen van Amsterdam en Rotterdam. Omdat één van de breslocaties in Den Haag ligt, treden daar lokaal grote inundatiedieptes op, maar die in andere delen van de stad blijven relatief klein. In de nulsituatie (afbeelding 1a) verspreidt het water zich over een groot deel van het dijkkringgebied, terwijl in de dubbelwandstrategie (afbeelding 1c) het overstromde oppervlak zich beperkt tot het gebied direct achter de breslocaties. In de dubbelwandstrategie komt minder water het gebied in. Verder is bij de partiestrategie (afbeelding 1b) te zien dat de stroom van de kust naar de polders bij Rotterdam gestopt wordt. In de nulsituatie en de waardebescherminstrategie blijft het water tot aan het einde van de simulatie stromen. In de dubbelwandstrategie stopt het water na ongeveer een halve dag met stromen. Wel treden relatief grote waterdieptes op in het overstromde gebied bij deze strategie (afbeelding 1c).

Tabel 1 laat het aantal getroffen personen zien per compartimenteringsstrategie voor ieder van de zeven overstromingssscenario's. De dubbelwandstrategie levert de grootste reductie op: 46 tot 93 procent (afhankelijk van het scenario) ten opzichte van de nulsituatie. De waardebescherminstrategie zorgt voor een reductie van 30 tot 84 procent. De partiestrategie is het minst effectief, met een reductie van maximaal 25 procent ten opzichte van de nulsituatie. Bij de scenario's met meerdere breslocaties (E t/m G) leiden alle compartimenteringsstrategieën tot een vermindering van het aantal getroffen personen<sup>6</sup>.

Interessant is dat nieuwe compartimenteringsdijken voor nieuwe hoogten in het gebied zorgen, waardoor nieuwe evacuatielroutes ontstaan die de evacuatie kunnen bevorderen. Het water wordt ook opgehouden door de dijken, waardoor meer tijd gewonnen kan worden voor evacuatie.

Er ontstaan echter hogere stijgsnelheden, waardoor de kans op verdrinken toeneemt. Aanvullend onderzoek is nodig om het uiteindelijke aantal slachtoffers in het gebied te kunnen inschatten.

## Theoretisch onderzoek

We hebben een klein aanvullend theoretisch onderzoek uitgevoerd om op een meer systematische manier de effectiviteit van de drie compartimenteringsstrategieën te kunnen testen en vergelijken. We hebben een aantal hypothetische vierkantige dijkkringgebieden geschetst die gelijk zijn op één aspect na: de ruimtelijke verdeling van 'kwetsbare elementen' (representatief voor mensen of kapitaal) binnen een dijkkringgebied. Bij het eerste dijkkringgebied zijn de kwetsbare elementen volkomen homogeen verspreid over het gebied. In de daarop volgende dijkkringgebieden neemt de heterogeniteit van de ruimtelijke verdeling stapsgewijs toe. In alle hypothetische dijkkringgebieden hebben we de drie compartimenteringsstrategieën geïmplementeerd en daarbij de lengte van de compartimenteringsdijken laten toenemen. We hebben de primaire dijk om de hypothetische dijkkringgebieden op willekeurige plaatsen laten bezwijken en het verlies aan kwetsbare elementen bepaald.

Uit de theoretische exercitie blijkt dat de effectiviteit van een compartimenteringsstrategie mede afhankelijk is van de bereidheid tot het aanleggen van dijken. Als men bereid is om relatief veel nieuwe compartimenteringsdijken aan te leggen (met een totale lengte die ongeveer gelijk is aan de totale lengte primaire dijk), is de dubbelwandstrategie het meest aantrekkelijk (tabel 2). Als men niet bereid is veel lengte aan compartimenteringsdijken aan te leggen (totale lengte van nieuwe dijk ongeveer gelijk aan de helft van de totale lengte primaire dijk), dan blijkt de waardeverdeling binnen de dijkkring van belang. Bij een homogene waardeverdeling blijkt de partiestrategie het meest aantrekkelijk, terwijl bij een heterogene waardeverdeling de waardebescherminstrategie de beste resultaten geeft. Dit is tevens exemplarisch voor de waardebescherminstrategie: een kleine geconcentreerde waarde wordt immers extra beschermd<sup>9</sup>.

## Conclusies

In het onderzoek zijn op basis van configu-

**Tabel 1: Het totaal aantal getroffen personen in dijkkring 14 per overstromingssscenario en compartimenteringsstrategie, met daarbij het percentage t.o.v. de nulsituatie.**

overstromingssscenario	compartimenteringsstrategieën (getroffen)			
	nulsituatie	partitie	dubbelwand	waardebeschermin
breslocatie				
A Scheveningen	206.574	207.877 (101%)	32.960 (16%)	33.280 (16%)
B Kralingen	172.725	171.746 (99%)	62.233 (36%)	120.811 (70%)
C Ter Heijde	664.095	497.519 (75%)	43.499 (7%)	250.969 (38%)
D Haarlem	128.905	129.720 (101%)	69.694 (54%)	71.048 (55%)
E Ter Heijde + Scheveningen + Katwijk	1.130.151	872.370 (77%)	168.214 (15%)	480.927 (43%)
F Ter Heijde + Kralingen	790.925	681.871 (86%)	93.493 (12%)	311.258 (39%)
G Ter Heijde + Scheveningen + Katwijk + Kralingen + Haarlem	1.372.497	1.171.311 (85%)	275.718 (20%)	565.342 (41%)



raties drie verschillende compartimenteringsstrategieën geïntroduceerd. Elk strategie heeft zijn eigen effect op de overstrooming en de getroffen. De inrichting van het gebied en de lengte van de compartimenteringsdijken bepalen mede de effectiviteit van de strategie. Voor dijkkring 14 is de strategie om een tweede dijk (dubbelwandstrategie) achter de primaire dijk te plaatsen de meest aantrekkelijke vorm van compartimentering om de gevolgen van een overstrooming op te vangen. De waardebeschermingstrategie is een minder aantrekkelijke oplossing vanwege de (homogene) verstedelijking. Het kan echter een interessante optie zijn voor dijkkringgebieden met een geconcentreerde waarde. De partitiestrategie is weinig

effectief in de situatie waarbij het water van alle zijden het dijkkringgebied binnen kan stromen, waardoor het water nog steeds op ongewenste plaatsen kan komen.

Interessant voor vervolgonderzoek is het bepalen van het effect van een combinatie van compartimenteringsstrategieën in een dijkkringgebied. Een combinatie kan de positieve effecten van de afzonderlijke strategieën versterken. Uiteindelijk heeft elke dijkkring zijn eigen karakter en moet daarbij de compartimenteringsstrategie passend bij worden gemaakt.

Uiteindelijk zou een investering in compartimenteringsdijken moeten worden

afgewogen tegen de baten op lange termijn. Bovendien zou een vergelijking moeten worden gemaakt met andere veiligheidsstrategieën, zoals investeren in primaire keringen, betere grootschalige ramp- en evacuatieplannen, lokale strategieën van zelfredzaamheid, het land (deels) verhogen en reallocatie van investeringen naar minder kwetsbare gebieden in het land.

LITERATUUR

- 1) Theunissen R., M. Kok, en H. Vrijling (2006). Compartimentering van dijkringen: niet altijd dé oplossing. H<sub>2</sub>O nr. 21, pag. 29-31.
- 2) Kok M. en F. Havinga (2005). Veiligheid Nederland in Kaart: Hoofdrapport onderzoek overstroomingsrisico's. Rijkswaterstaat/DWW.
- 3) RIVM (2004). Risico's in bedijkte termen - een evaluatie van het beleid inzake de veiligheid tegen overstroomingen. RIVM.
- 4) OECD (2003). Emerging risks in the 21st Century - An agenda for action.
- 5) Hoekstra A. (2005). Generalisme als specialisme - Waterbeheer in de context van duurzame ontwikkeling, globalisering, onzekerheden en risico's. Oratie Universiteit Twente.
- 6) Oost J. (2007). Compartmentalization of dike ring 14 - An investigation into different compartmentalization strategies to reduce the systemic risk of flooding. Afstudeerrapport Universiteit Twente.

**Tabel 2: De beste compartimenteringsstrategie als functie van de waardeverdeling binnen de dijkkring en de totale lengte van de compartimenteringsdijk.**

waardedistributie	totale lengte van de aan te leggen compartimenteringsdijken	
	weinig compartimenteringsdijk (totale lengte = ½ lengte primaire dijk)	veel compartimenteringsdijk (totale lengte = lengte primaire dijk)
homogeen	partitiestrategie	dubbelwandstrategie
heterogeen	waardebeschermingstrategie	dubbelwandstrategie

advertentie

**GIET UW WERVING VOOR OPLEIDING & PERSONEEL IN HET JUISTE VAT**

Reserveer ook uw personeelsadvertentie in H<sub>2</sub>O, hét tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer.

**010 - 4274180**

**DynaSand®: het enige echte continu zand filter**

Nordic Water Benelux BV  
 Van Heuven Goedhartlaan 121  
 1181 KK Amstelveen  
 T +31(0)20 5032691  
 F +31(0)20 6400469  
 www.nordicwater.nl  
 info@nordicwater.nl

Wereldwijd zijn er al meer dan 20.000 units geplaatst.

Continu zandfilter voor

- drinkwater
- proceswater, koelwater
- oppervlaktewater
- afvalwater
- grondwater
- fosfaatverwijdering

Biologisch filter voor

- nitrificatie
- denitrificatie

nordic water