



Rob Theunissen, TU Delft

Matthijs Kok, HKV Lijn in water / TU Delft

Han Vrijling, TU Delft

# Compartimentering van dijkkringen: niet altijd dé oplossing

**Compartimenteringsdijken worden veelal gezien als een aantrekkelijke maatregel om de gevolgen van een overstroming te beperken. Onderzoek laat echter zien dat ook nadelen bestaan aan deze oplossing en dat regionaal maatwerk nodig is.**

Compartimentering wordt succesvol toegepast in verschillende werkgebieden. In de scheepsbouw worden waterdichte compartimenten aangebracht zodat een schip in geval van een lek alsnog een haven kan bereiken. Vaak kan dan tijd worden gewonnen, zodat een reddingsoperatie een grotere kans van slagen heeft. In de utiliteitsbouw (wolkenkrabbers) vertragen vuurvaste compartimenten de verspreiding van een brand, zodat er meer tijd is om het brandende gebouw te verlaten. Daarmee kan eventueel zelfs het gehele verlies van het gebouw voorkomen worden.

Een verdeling in compartimenten kan ook worden herkend in de aanwezigheid van dijken in het Nederlandse landschap. De huidige primaire keringen zijn historisch gezien veelal de meest recente verdedigingswerken in een opeenvolgende serie van waterkeringen. In het verleden werden ten behoeve van de landbouw vaak kleine stukken buitendijks gelegen land omdijkt. De oude keringen kwamen hiermee midden in het landschap te liggen en de overgebleven historische keringen resulteren nu in een min of meer onbewuste compartimentering van veel gebieden.

Er zijn ook voorbeelden van bewuste toepassingen van compartimenteringsdijken. In de 13e eeuw werd de Diefdijk aangelegd. Deze dijk beschermt in combinatie met de Lingewerken (een uitlaatsysteem) de Alblasserwaard (dijkring 16) tegen een overstroming vanuit de Betuwe, de Culemborger- en Tielerwaarden (dijkring 43). Daarmee worden de gevolgen van een overstroming in dijkkring 43 beperkt en wordt de Alblasserwaard gespaard. De Diefdijk is als primaire waterkering opgenomen

in de dijkkringenkaart van de Wet op de Waterkering.

Het doel van compartimentering is het onderverdelen van een hoofdsysteem in compartimenten waardoor de gevolgen beperkt worden. Het risico (kans maal gevolg) voor het hoofdsysteem neemt af, omdat de gevolgen van initieel falen worden beperkt tot één of enkele compartimenten.

## Overstromingsrisicobenadering

In het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) zijn voor het eerst op een systematische manier de overstromingsrisico's van een aantal dijkkringgebieden bepaald<sup>3)</sup>. Daarbij is als definitie van risico gehanteerd:

risico = overstromingskans x gevolgen van overstroming

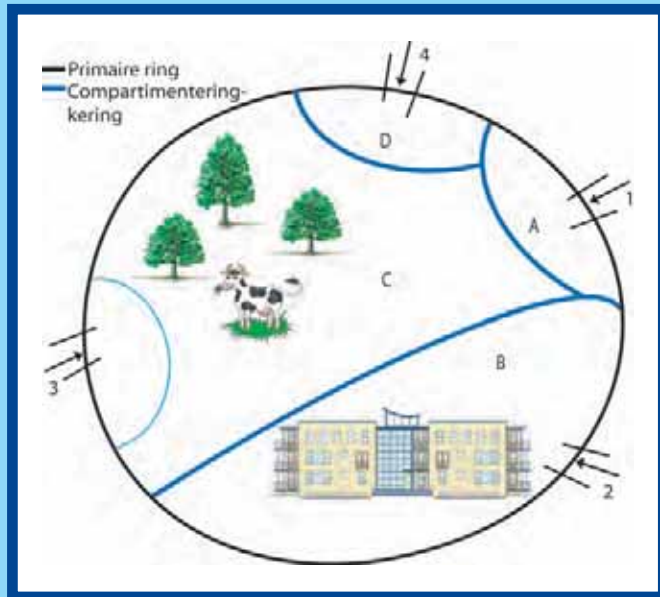
Voor de bepaling van de overstromingskans wordt de dijkkring opgevat als een keten, bestaande uit schakels. De dijkkring wordt daartoe opgedeeld in drie typen waterkeringen: dijken, duinen en kunstwerken. Vervolgens worden de dijken en duinen onderverdeeld in vakken. Een vak is een deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting. Naast de opdeling in typen waterkeringen worden ook verschillende manieren onderscheiden waarop een dijk kan falen (zoals overslag, piping, gebrek aan stabiliteit). Bij gebrek aan kennis of wanneer onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om berekeningen uit te voeren, wordt de onzekerheid expliciet meegenomen in de berekening.

De gevolgen van een overstroming hebben vele dimensies. Veelal wordt ervoor gekozen

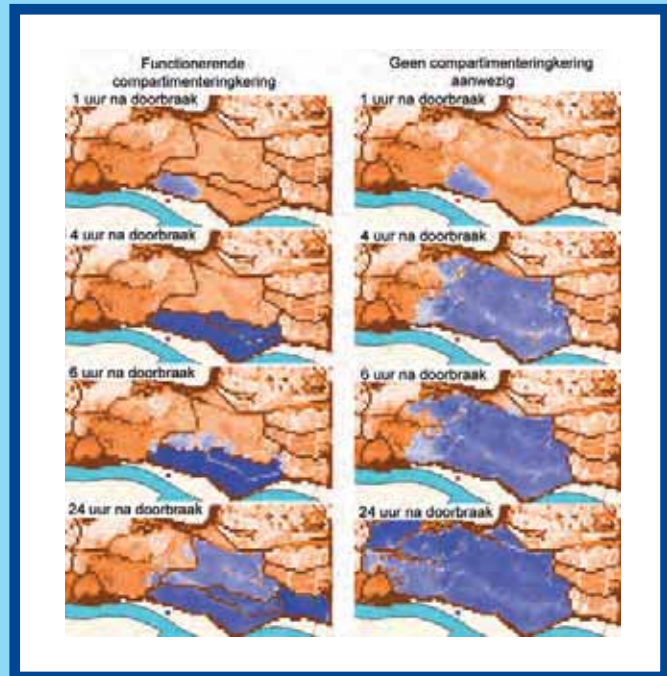
om twee dimensies centraal te stellen: 'aantallen slachtoffers' en 'economische schade'. Kennis met betrekking tot de bepaling van deze effecten is lastig te toetsen aan de praktijk, vooral ook omdat weinig praktijkgegevens voorhanden zijn. De methoden voor het bepalen van de effecten van een overstroming zijn dan ook vooral gebaseerd op de ervaringen van de watersnoodramp uit 1953 en op ervaringen uit het buitenland. Recent zijn in het VNK-project grote vorderingen geboekt met het definiëren van mogelijkheden van evacuatie (nieuwe evacuatiemodule: hoe snel kan een bevolking worden geëvacueerd?) en mogelijke overstromingsscenario's (hoe en hoe snel stroomt het water het dijkkringgebied in en welke overstromingsdieptes treden daarbij op?). Op basis van deze scenario's kan het aantal slachtoffers en de economische schade worden bepaald. Ook is het mogelijk om op basis van de overstromingsscenario's een betere onderbouwing te maken voor calamiteitenplannen, omdat deze inzicht geven in de kritieke locaties en kritieke vluchtroutes.

## Effect van compartimentering

Historische keringen of compartimenteringskeringen, maar ook de dijklichamen van autosnelwegen en treinsporen beïnvloeden het overstromingsverloop. Dat bepaalt uiteindelijk de gevolgen. In een overstromingsscenario worden keuzes gemaakt voor het aantal bressen, de locatie van deze bressen en het verloop van de waterstanden op het 'buitenwater'. Aan elk overstromingsscenario wordt een kans toegekend. Er is een relatie tussen de oppervlakte van het overstroomde gebied en de waterdiepte. Is de oppervlakte groot en het gebied vlak,



Afb. 1: Toelichting karakteristieken compartimentering.



Afb. 2: Verschil in overstromingsverloop met en zonder compartimenteringskeringen.

dan zijn de waterdieptes relatief gering. Is de oppervlakte relatief gering, dan nemen de waterdieptes toe waardoor ook de kans op slachtoffers toeneemt. De aanwezigheid van een compartimenteringskering zal de oppervlakte van het overstroomde gebied beperken. In dat geval zal een doorbraak van een compartimenteringskering een toename van het overstroomde gebied betekenen. Er worden vier karakteristieken onderscheiden waarmee de impact van een compartimenteringskering op het overstromingsrisico conceptueel kan worden beschreven. Deze worden aan de hand van afbeelding 1 toegelicht.

#### Scenariokansen over de primaire dijkkring

Bij een dijkkringdeel met een relatief grote overstromingskans zal de compartimenteringskering vaker een waterkerende functie moeten vervullen dan bij een dijkkringdeel met een relatief kleine overstromingskans.

#### De belasting

Een lijnelement heeft alleen invloed op het overstromingsverloop van een overstromingsscenario als deze waterkerend is. Bij spoorlijnen is dat veelal niet het geval bij de optredende waterstand.

#### De sterkte

Indien een compartimenteringskering faalt, zal het overstroomde gebied alsnog buiten het oorspronkelijk overstroomde compartiment treden (doorbraak compartimenteringskering bij compartiment A). Het is dan mogelijk dat de aanwezigheid van de compartimenteringskering juist resulteert in extra schade en slachtoffers. Dit gebeurt als de optredende waterdieptes in het eerste compartiment voor de doorbraak in de compartimenteringskering hoger zijn

vergeleken met de situatie zonder compartimenteringskering.

#### Bevolkingsverdeling en economische waarde

Het effect van een compartimenteringskering is afhankelijk van de waarde van het overstroomde compartiment (compartiment B versus C). Een compartimenteringskering heeft een positieve invloed wanneer de extra schade in een overstroomd compartiment wordt gecompenseerd door het voorkomen van schade in andere compartimenten en andersom.

De veelheid aan karakteristieken en de grote variatie binnen een karakteristiek impliceert een grote verscheidenheid aan mogelijke invloeden van compartimentering. Dit maakt de vraag of compartimentering voordelig is een plaatsafhankelijke vraag.

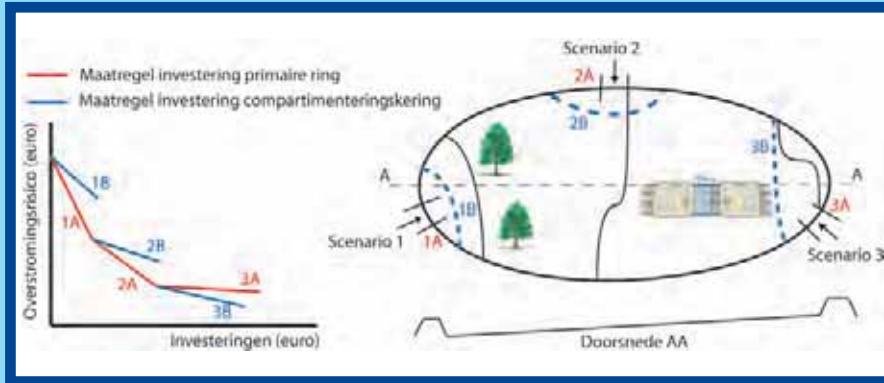
#### Casus IJsselmonde

Voor dijkkring 17 (IJsselmonde) is het effect van compartimentering op het overstromingsrisico bepaald<sup>1)</sup>. Bij de modellering van de gevolgen zijn verschillende omstandigheden van de aanwezige compartimenteringskeringen onderzocht. Aan de hand van afbeelding 2 wordt het verschil in overstromingsverloop bij aan- en afwezigheid van een compartimenteringskering voor een overstromingsscenario toegelicht.

De linkerkolom toont de staat van de overstroming bij aanwezigheid van een functionerende compartimenteringskering één, vier, zes en 24 uur na doorbraak van de primaire kering. De rechterkolom toont de staat van de overstroming op dezelfde tijdstippen bij afwezigheid van de compartimenteringskering. Een donkere kleur blauw correspondeert met een grotere waterdiepte. Door de aanwezigheid van de comparti-

menteringskering wordt het overstroomde gebied beperkt, maar treden wel grote waterdieptes en hoge stijgsnelheden in het overstroomde compartiment op. Het water loopt over de compartimenteringskering, totdat het peil op de rivier weer onder het niveau van de compartimenteringskering zakt. Het water in het overstroomde compartiment zakt dan mee met het peil op de rivier. Bij afwezigheid van de compartimenteringskering heeft het overstroomde gebied een grotere oppervlakte; de waterdieptes en de stijgsnelheden daarentegen blijven beperkt. Beide situaties tonen een significant ander hydraulisch overstromingsverloop.

De verwachte economische schade bij aanwezigheid van een compartimenteringskering is berekend op 0,1 miljard euro, terwijl bij afwezigheid de verwachte schade 0,6 miljard euro bedraagt. Deze factor 6 wordt verklaard doordat een functionerende compartimenteringskering het overstroomde gebied significant beperkt en voorkomt dat een waardevol gebied overstroomt. De resultaten voor het verwachte aantal slachtoffers zijn bij dit scenario echter compleet anders. Het verwachte aantal slachtoffers is gevoelig voor hoge stijgsnelheden. Hoge stijgsnelheden treden op in het overstroomde compartiment bij aanwezigheid van de compartimenteringskering. Het berekende verwachte aantal slachtoffers is anders dan bij de verwachte economische schade hoger bij aanwezigheid van de compartimenteringskering. Met een compartimenteringskering is het verwachte aantal slachtoffers circa 220, terwijl zonder compartimenteringskering slechts circa 40 slachtoffers verwacht worden.



Afb. 3: Investeren in de primaire kering of de compartimenteringskering?

	huidige situatie	compartimentering
maximale totale schade (miljard euro)	25	30
overstromingskans	1/1400	1/1400 (bovenstrooms) 1/3450 (benedenstrooms)
reductie risico (miljoen euro/jaar)	-	4,3
kosten (miljoen euro)	-	80
rendement eerste jaar	-	1,07

Kosten-batenanalyse van compartimenteringsdijk 2.

### Kosten-batenanalyse

In het voorgaande is aangetoond dat compartimentering niet altijd een positieve invloed heeft op het slachtofferrisico. Er zijn echter scenario's waarbij compartimentering zowel wat betreft economische schade als slachtoffers een positief effect heeft. Is het bij zo'n scenario kosteneffectief om in de aanleg van compartimenteringskeringen te investeren? Om antwoord te krijgen op deze vraag is het noodzakelijk het effect van investeringen in compartimenteringskeringen te vergelijken met het effect van investeringen in de primaire kering. Beide investeringen zorgen ofwel via het kansendeel ofwel via het gevolgendeel voor een afname van het overstromingsrisico.

Van elke van deze maatregelen zijn de kosten bekend en kan het effect op de kansen van de overstromingssscenario's of de gevolgen van het scenario berekend of gemodelleerd worden. Voor alle maatregelen is het mogelijk de risicoreductie voor het systeem uit te zetten tegen de investeringskosten. Afbeelding 3 geeft een opeenvolging van maatregelen om het overstromingsrisico te verlagen. De keuze voor investeren in de primaire kering of in de compartimenteringskeringen is weergegeven door middel van de vertakkingen. Bij elke vertakking wordt de effectiefste maatregel gekozen oftewel de maatregel met de sterkste daling van het risico.

Investerings in de primaire kering lijkt in IJsselmonde effectiever te zijn dan investering in nieuwe compartimenteringskeringen, vanwege hoge investeringen door onteigeningen, procedures en grote benodigde hoeveelheden grond. Compartimenteringsmaatregelen lijken alleen kosteneffectief te kunnen worden wanneer

voor lage kosten bijvoorbeeld een bestaand dijklichaam waterkerend kan worden gemaakt. Bij gelijke kosteneffectiviteit van maatregelen heeft investeren in de primaire kering voorkeur in het kader van 'voorkomen is beter dan genezen'. Overstroming van een enkel compartiment heeft immers ook enorme gevolgen.

In het project Rampenbeheersingsstrategie Overstromingen Rijn en Maas (RBSO) is een kosten-batenevaluatie uitgevoerd van verschillende maatregelen om het overstromingsrisico te beperken<sup>2)</sup>, zoals fysieke noodmaatregelen, noodoverlooptgebieden, compartimenteringsdijken en integrale normverhoging (middels dijkversterking of rivierverruiming). Als locatie voor een compartimenteringsdijk is gekozen voor dijkkring 43 (Betuwe en Tieler- en Culemborgerwaarden), waarin maximaal aangesloten wordt bij bestaande 'lijnelementen'. Er zijn drie varianten uitgewerkt: een compartimenteringsdijk langs het Amsterdam-Rijnkanaal, een compartimenteringsdijk die zoveel mogelijk het spoorwegtracé tussen Arnhem en Nijmegen volgt en een compartimenteringsdijk ten oosten van Ochten en Kesteren.

In het RBSO-onderzoek bleek ook dat een compartimenteringsdijk een toename van de schade kan geven. Deze toename ontstaat omdat de waterdieptes in een deel van de gecompartmenteerde dijkkring toenemen. Daardoor overstromen bepaalde gebieden die zonder compartimentering niet zouden overstromen. Door een compartimenteringsdijk langs het Amsterdam-Rijnkanaal neemt de potentiële schade met 22 procent toe (van 25 naar 30 miljard euro). Aangenomen is dat de compartimenteringsdijk uiteindelijk ook bezwijkt, omdat het bovenstroomse deel van de dijkkring hellend

is en de waterstand op de rivier nog niet voldoende gedaald is om het water weer af te voeren naar de rivier. De conclusie uit het RBSO-onderzoek luidt dat de aanpassingen van de bestaande waterkeringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal kosteneffectief zijn (rendement eerste jaar > 1)<sup>2)</sup>.

### Conclusies

Op basis van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Compartimenteringsdijken zijn op dit moment al onderdeel van de bestaande dijkkringen. Nieuwe compartimenteringsdijken kunnen dan ook opgenomen worden in de Wet op de Waterkering door de grenzen in de dijkkringenkaart aan te passen;
- Door het uitvoeren van een risicoanalyse (overstromingskansen en overstromingssscenario's) kan berekend worden of compartimenteringsdijken aantrekkelijk zijn vanuit het perspectief van risicoreductie. Het is in praktijk mogelijk dat het aantal slachtoffers toeneemt, terwijl de economische schade beperkt wordt;
- Voor dijkkring IJsselmonde zijn niet alle bestaande compartimenteringsdijken effectief voor wat betreft het beperken van het aantal slachtoffers.

### Literatuur:

- 1) Theunissen R. (2006). A probabilistic flood risk assessment and the impact of compartmentation. DWW en TU Delft. Afstudeerrapport.
- 2) Kind J. (2006). Rampenbeheersingsstrategie overstromingen Rijn en Maas. Achtergrondrapportage kosten-batenanalyse. RWS/RIZA. Rapport 2005.025.
- 3) Kok M. en F. Havinga (2005). Veiligheid Nederland in Kaart. Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's. Rijkswaterstaat/DWW.