

**stowa**

# KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN



RAPPORT

2008  
**w05**

KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

**RAPPORT**

2008  
**W05**



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

STOWA STOWA 2008-W05

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)



# KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

## INHOUD

	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Waarom een keuzemodel?	1
	1.2 Wat zijn tijdelijke of demontabele keringen?	2
	1.3 Wat kan het keuzemodel?	2
	1.4 Voor wie is het keuzemodel bestemd?	4
	1.5 Verantwoording	5
	1.6 Opbouw van het keuzemodel	5
<b>2</b>	<b>GENERIEKE SYSTEMEN MOBIELE KERING</b>	<b>7</b>
	2.1 Demontabele keringen	7
	2.2 Tijdelijke keringen	7
	2.3 Overzichtstabel geïnventariseerde keringen	8

<b>3</b>	<b>VEILIGHEIDSFILOSOFIE EN ACHTERGRONDEN</b>	<b>9</b>
3.1	Filosofie	9
3.2	Achtergronden veilig gebruik mobiele keringen	10
3.3	Het voorspellen van de beschikbare tijd	14
3.4	De sluitingsprocedure	16
3.5	Vertaling naar een betrouwbaarheidseis om te voldoen aan de veiligheidsnorm	18
3.6	De inzet van tijdelijke keringen als primaire of secundaire waterkering	19
3.7	De rol van het draaiboek	19
<b>4</b>	<b>ONTWERP EN KEUZEASPECTEN</b>	<b>21</b>
4.1	Algemeen	21
4.2	Verhoogde staat van paraatheid ( $T_p$ )	22
4.3	Mobilisatie ( $T_m$ )	23
4.3.1	Locatiegebonden aspecten	24
4.3.2	Tijdsaspecten	24
4.3.3	Personeel	24
4.3.4	Operationeel	25
4.4	Sluitingsprocedure ( $T_s$ )	25
4.4.1	Beschikbare ruimte voor opbouw	26
4.5	Gebruiksfase ( $T_b$ )	26
4.5.1	Hydrostatische waterdruk	26
4.5.2	Stromingsdruk	27
4.5.3	Golfbelasting	27
4.5.4	Stootbelastingen	27
4.5.5	Winddruk	27
4.5.6	Overige belastingen	27
4.5.7	Bijzondere belastingen	28
4.5.8	Geotechnische aspecten	28
4.6	Typische risico's en aandachtspunten voor mobiele keringen	29
4.6.1	Risico's	29
4.6.2	Algemene maatregelen ter vermindering risico's	29
4.6.3	Strategisch / beleidsmatig	29
4.6.4	Structureel	29
<b>5</b>	<b>KOSTEN</b>	<b>31</b>
5.1	Algemeen	31
5.2	Kosten(optimalisatie) in het keuzemodel	31
5.3	Investeringskosten	32
5.4	Jaarlijkse vaste kosten	32
5.5	Jaarlijkse variabele kosten	32
5.6	Effectiviteitsratio	33
<b>6</b>	<b>STAPPENPLAN KEUZEMODEL</b>	<b>34</b>
6.1	Algemene werkwijze tot stand komen keuze	34
6.2	Stap 1: Bepalen externe omstandigheden	36
6.3	Stap 2: Principekeuze	36
6.4	Stap 3: Preanalyse haalbaarheid	37
6.5	Stap 4: Kosten	38
6.6	Stap 5: Acceptatie en vertaling van generiek naar specifiek	38

<b>7</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>BEGRIPPENLIJST</b>	<b>40</b>
	<b>KADERS</b>	
1	De economie van (mobiel) waterkeren	
2	Veiligheidsfilosofie waterkerende kunstwerken	
3	Ervaring versus statistiek	
	<b>BIJLAGEN</b>	
A	Beschrijving generieke systemen	
B	Beschrijving geïnventariseerde systemen	
C	Enquêteformulier	
D	Casussen	
E	Beschrijving en CD tijdsverloop	
F	Kaart en checklist keuzemodel	





# 1

## INLEIDING

### 1.1 WAAROM EEN KEUZEMODEL?

Er bestaan permanente en mobiele waterkeringen. Permanente keringen zijn bijvoorbeeld dijken, keermuren en andere waterkerende constructies, die altijd aanwezig zijn en die niet apart te hoeven worden opgebouwd bij een (dreigend) hoogwater. Permanente keringen zijn echter niet overal even gemakkelijk te realiseren. Te denken valt aan stedelijke gebieden, waar een veelheid aan gebruiksfuncties bestaan op en rond een waterkeringstracé. In die gevallen worden vaak mobiele keringen toegepast, omdat een permanente oplossing niet inpasbaar is vanwege bijvoorbeeld het stadsgezicht, historische gebouwen en (multifunctionele) ruimtegebruik en -gebrek in het algemeen. In dergelijke gevallen ligt het voor de hand om mobiele keringen te gebruiken omdat die vaak beter inpasbaar zijn. Mobiele keringen kunnen demontabele keringen zijn of tijdelijke. Het onderscheid zit hierbij in het feit dat er van demontabele keringen altijd een deel van de constructie achterblijft op het waterkeringstracé, terwijl van tijdelijke keringen niets achterblijft (zie paragraaf 1.2).

Het aanbod van beschikbare systemen is de afgelopen jaren sterk uitgebreid evenals de praktische toepassing er van. De wijze van toepassen en de bijbehorende veiligheidsfilosofie blijkt echter van beheerder tot beheerder te verschillen. Dit is logisch, want toepassing van tijdelijke en demontabele keringen is vaak maatwerk waarbij het gebied en de specifieke lokale omstandigheden bepalend zijn voor een keuze of het ontwerp. Echter, door de toename van gebruik van dergelijke systemen ontstaat de behoefte om meer inzicht te verkrijgen in de wijze waarop systemen veilig toegepast kunnen worden, de eisen die daarbij aan de beheersorganisatie gesteld moeten worden en de kosten die gepaard ermee gemoeid zijn. Daarnaast ontstaat vanuit de noodzakelijke vijfjaarlijkse toetsing de behoefte aan een eenduidige en uniforme aanpak en structuur.

*Voorliggend keuzemodel beoogt meer uniformiteit in de toepassing van tijdelijke en demontabele waterkeringen te brengen, waarbij vooral aandacht besteed wordt aan het inzichtelijk en bewust maken van de verantwoordelijkheid die op de beheerder rust bij het veilig beheren en gebruiken ervan.*

Het keuzemodel is kwalitatief, wat wil zeggen dat er geen faalkansen gegeven worden voor systemen. Dit viel ook buiten de huidige opdracht. De praktische haalbaarheid van het binnen de tijd die er voor staat succesvol opzetten van een mobiele kering, wordt hier uitgedrukt in kosten die gemaakt moeten worden om alle mogelijke middelen om een systeem zo veilig mogelijk te kunnen maken in te zetten binnen een zo nauwkeurig mogelijk bepaalde tijdsspanne. De methodiek vergroot het inzicht in de keuze en operationele aspecten van de mobiele keringen wat het toetsen van de keringen vergemakkelijkt en een eenduidiger toetsing mogelijk maakt.

## 1.2 WAT ZIJN TIJDELIJKE OF DEMONTABELE KERINGEN?

Zoals hiervoor al opgemerkt zijn demontabele keringen waterkeringen waarvan een deel van de constructie alleen bij dreigend hoogwater wordt opgebouwd en waarvan gedurende normale omstandigheden slechts een deel van de constructie zoals funderingsbalken, kwelschermen of aansluitingen op bestaande constructies achter blijven in het waterkeringstracé. Dit betekent dat het gebied op en rond het waterkeringstracé waar de demontabele kering wordt toegepast onder normale omstandigheden zonder beperkingen gebruikt kan worden en dat het mogelijk is om de waterkering optimaal in te passen in de omgeving. Demontabele waterkeringen worden van oudsher veelvuldig toegepast in onder meer Nederland en Duitsland, zowel als primaire en als secundaire waterkering.

FIGUUR 1.1 TYPEN MOBIELE KERINGEN. LINKS: MODERN SCHOTBALKSYSTEEM. MIDDEN: OUD SCHOTBALKSYSTEEM (PLANKEN MET PAARDENMEST). RECHTS: TIJDELIJKE KERING



Tijdelijke waterkeringen verschillen van demontabele waterkeringen in die zin dat er onder normale omstandigheden niets achterblijft in omgeving. Toepassing als primaire kering is in Nederland en Duitsland nog betrekkelijk ongebruikelijk. Dit heeft vooral te maken met de strenge veiligheidsnormen die in Nederland (en Duitsland) gelden. Dit soort systemen wordt dan ook met name gebruikt als extra zekerheid bij demontabele keringen of als middel om wateroverlast te beperken. In het Verenigd Koninkrijk wordt dit type kering meer toegepast, maar de veiligheidsnorm is daar dan ook beduidend lager.

## 1.3 WAT KAN HET KEUZEMODEL?

Het keuzemodel is bedoeld om de keuze tussen verschillende typen systemen te vergemakkelijken en voorafgaand aan een detailontwerp inzicht te verkrijgen in de consequenties ervan voor de veiligheid, kosten en organisatie. Daarnaast biedt het structuur voor zowel het ontwerp als het toetsproces. Gegeven de externe omstandigheden geeft het model aan hoe moeilijk (of gemakkelijk) het is om in praktische zin met de verschillende systemen de hoogst mogelijke veiligheid te behalen.

Het keuzemodel voor mobiele keringen is kwalitatief van opzet. Dit betekent dat er voor de verschillende onderdelen in het proces van opbouwen van de mobiele kering, geen specifieke faalkansen gegeven worden op basis waarvan een berekening gemaakt kan worden om te zien of een bepaald systeem voldoet aan de veiligheidsnorm. De gedachte is hierbij dat dit in een detailontwerp zal worden gedaan, waarbij het keuzemodel er voor moet zorgen dat de meest kansrijke opties voorgeselecteerd worden voor een detailbeschouwing wat bijdraagt

aan de efficiency van het ontwerp- en keuzetraject. De mogelijkheid bestaat echter wel om in de toekomst het keuzemodel uit te breiden met faalkansen en generieke faalkansbomen voor afzonderlijke onderdelen.

In het keuzemodel is uitgegaan van een benadering waarbij wordt aangegeven welke handelingen of middelen nodig zijn om de hoogst haalbare veiligheid te behalen. Hierbij wordt als voorwaarde gesteld wordt dat al deze handelingen of middelen comfortabel, binnen de beschikbare tijd verricht of ingezet kunnen worden. De handelingen of middelen geven kwalitatief inzicht in de verantwoordelijkheden die op de beheersorganisatie komen te rusten en zijn ook goed in geld uit te drukken. Immers, indien alle (systeemspecifieke) mogelijke middelen vooraf bekend zijn, dan zal de veiligheid het grootst zijn als de beheersorganisatie in staat is deze comfortabel binnen de beschikbare tijd in te zetten tijdens de bouw en gebruiksfase en als de organisatie dit ook eenduidig kan aantonen. Het gaat hierbij dus in belangrijke mate om de aantoonbaarheid waarmee de extra te treffen maatregelen een integraal onderdeel worden van het gebruik van mobiele keringen.

Een systeem waarbij de organisatie niet in staat is om al het mogelijke wat tijdens de totale sluitingsprocedure fout kan gaan (aantoonbaar) te onderkennen en maatregelen te treffen, zal dus nooit veilig kunnen worden toegepast. Is het aantoonbaar dat de organisatie hier wel toe in staat is, hetgeen betekent dat de onverwachte zaken vooraf zoveel mogelijk bekend moeten zijn inclusief een mitigerende maatregel, dan kan het systeem zeer waarschijnlijk 'veilig' kan worden toegepast, mits ze comfortabel binnen de beschikbare tijd kunnen worden uitgevoerd (zie hoofdstuk 2). Indien dat het geval is, is de verwachting dat bij een goed gedetailleerd ontwerp inclusief de bijbehorende risicoanalyse voldaan kan worden aan de normstelling (al dan niet met beperkte kleine aanpassingen). Wel worden in dit keuzemodel aanbevelingen gedaan ten aanzien van de meest belangrijke aspecten in een gedetailleerde risicoanalyse voor ieder generiek systeem.

Bij het aantoonbaar maken speelt ook het draaiboek een belangrijke rol. De rol van het draaiboek wordt beschreven in hoofdstuk 2.

Het feit dat de beschikbare tijd een belangrijke indicator is voor het al dan niet in staat zijn de mobiele kering veilig te gebruiken maakt dat ook de nodige aandacht besteed moet worden aan het bepalen van de minimaal beschikbare tijd voor sluiting. Het model stelt de gebruiker in staat om inzicht te krijgen of het mogelijk is in zijn situatie een mobiele kering toe te passen en zo nee, onder welke condities dat eventueel wel mogelijk is.

De in de markt beschikbare systemen zijn voor het keuzemodel gecategoriseerd naar een beperkt aantal generieke systemen (zie hoofdstuk 2). Dit betekent dat de uitkomst van het keuzemodel een generiek systeem is en geen specifiek systeem. Ieder systeem is op hoofdlijnen beoordeeld, waarbij niet alleen navraag gedaan is bij de fabrikanten maar ook bij de gebruikers, voor zover mogelijk. Er heeft geen diepgaande constructieve analyse van de systemen of een kwaliteitsbeoordeling plaatsgevonden. Wel zijn karakteristieke sterke en zwakke punten van de systemen aangemerkt en worden aanbevelingen gedaan ten aanzien van de wijze waarop een generiek systeem met bijvoorbeeld extra maatregelen nog veiliger gemaakt kan worden (bijvoorbeeld door extra materiaal ter beschikking te hebben). Hierbij is vooral gebruik gemaakt van de gebruikerservaringen die voor het opzetten van het keuzemodel geïnventariseerd zijn.

*Het keuzemodel ondersteunt dus de afweging die een beheerder moet maken over het al dan niet toepassen van een mobiele kering en geeft inzicht in de condities waarbij veilige toepassing mogelijk is.*

De uiteindelijke beslissing moet door de beheerder zelf genomen worden, waarbij het er om gaat dat de beheerder het gevoel heeft dat een voorgesteld generiek systeem in combinatie met de vereiste inzet van middelen om een zo hoog mogelijke veiligheid te behalen past bij de strategie / veiligheidsfilosofie die hij er op wenst na te houden. Te denken valt dan bijvoorbeeld aan meer specifieke aspecten als het achter de hand hebben van lapmiddelen en duurzaamheid van bepaalde systemen die vaak behoren tot de inherente onveiligheden van systemen waar je je als beheerder al dan niet aan bloot wenst te stellen.

Tot slot wordt in het keuzemodel uitgegaan van opbouw in vier fasen, te weten:

- fase 1: verhoogde staat van paraatheid;
- fase 2: mobilisatie;
- fase 3: het sluiten van de mobiele kering;
- fase 4: de gebruiksfase.

In de praktijk kan de situatie zich voordoen dat er meerdere fasen zijn. Zo kan bijvoorbeeld nog een voorwaarschuwingfase zijn toegepast of zijn er verschillende trajecten van mobiele keringen in één draaiboek geïntegreerd. Dit doet aan de wijze waarop hier tot een keuze wordt gekomen niets af. De systematiek kan even gemakkelijk worden uitgebreid naar meerdere fasen. Het wordt echter vanuit de eenduidigheid en navolgbaarheid (wat dus de aantoonbare veiligheid ten goede komt) aanbevolen voor ieder apart onderdeel van een mobiel keringstracé een apart draaiboek op te stellen met ten hoogste deze vier fasen met een overkoepelend draaiboek waar alleen de waarschuwingsspeilen van deze trajecten zijn opgenomen (zie tevens hoofdstuk 2 voor de rol van het draaiboek).

#### **1.4 VOOR WIE IS HET KEUZEMODEL BESTEMD?**

Het keuzemodel is in eerste instantie bedoeld voor beheerders die overwegen om een mobiele kering toe te gaan passen en die inzicht willen krijgen in de te leveren inspanning en kosten om de veiligheid te maximaliseren: Een beheerder krijgt inzicht in de te leveren inspanning voor veilig gebruik en de frequentie van optreden van kosten in de vorm van het statistisch voorkomen van waterstanden en/of afvoeren waarbij de opeenvolgende fasen in werking treden (zie hoofdstuk 2) en of mobiele keringen überhaupt voor toepassing in aanmerking komen.

Daarnaast biedt het keuzemodel de mogelijkheid om langs een vast raamwerk een bestaande kering te evalueren en te zien of de kering op hoofdlijnen beschouwd veilig is. Dit raamwerk biedt tevens de mogelijkheid om een effectief, eenduidig en op navolgbare wijze toetsbaar draaiboek op te stellen dat naadloos aansluit op de situatie en oorspronkelijke ontwerpgedachte achter de kering.

Tot slot is vanuit het keuzemodel een (indicatieve) veiligheidseis te formuleren voor een eventueel detailontwerp.

## 1.5 VERANTWOORDING

Het Keuzemodel Tijdelijke en Demontabele Waterkeringen is opgesteld door Royal Haskoning in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterschappen (STOWA). De projectleiding was in handen van dhr. M.A. van Heereveld M.Sc.(Eng.) van de zijde van Royal Haskoning en in handen van dhr. Ir. L. Wentholt van de zijde van STOWA.

Het project is inhoudelijk begeleid door een begeleidingscommissie voor de afstemming van het product op de eindgebruikers en het inbrengen van de belangrijke ervaringen van de gebruikers van tijdelijke en demontabele waterkeringen in Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. De leden van de begeleidingscommissie zijn weergegeven in onderstaande tabel. De toepasbaarheid en het concept keuzemodel zijn getoetst aan de hand van een achtal casussen en ter beoordeling aan experts binnen de organisaties van de begeleidingscommissie voorgelegd.

TABEL 1.1 OVERZICHT LEDEN VAN DE BEGELEIDINGSCOMMISSIE

dhr. L. Wentholt (voorzitter)	STOWA
Dhr. J. Teensma	Waterschap Roer en Overmaas
Dhr. D. van Leussen	Waterschap Rivierenland
Mevr. M. van Dijk	RWS DVS
Dhr. R. Mensink	Hoogheemraadschap Rijnland
Dhr. R. van der Veer	Hoogheemraadschap van Delfland
Mevr. B. Pluijm	Hoogheemraadschap van Delfland
Mevr. S. van Mispelaar - Schalkx	Waterschap Groot Salland

Tot slot werkten vanuit Royal Haskoning nog de volgende mensen aan het project mee: dhr. ir. R.O.T. Zijlstra (kwaliteitsborging en lid begeleidingscommissie), dhr. ir. J.J. Flikweert (deskundige ontwerp en toetsen van waterkeringen), mevr. dr.ir. P. Dankers (tevens assistent-projectleider), dhr. ir. K. van Gerven, dhr. ir. B. van Lammeren, dhr. F. Ogunyoye C.Eng. MICE en mevr. N. Rabier (projectingenieurs).

## 1.6 OPBOUW VAN HET KEUZEMODEL

Het keuzemodel bestaat uit voorliggend rapport en een zestal bijlagen. In het hiernavolgende hoofdstuk 2 worden generieke typen mobiele keringen kort beschreven (een uitgebreidere beschrijving van generieke typen en systemen die daar onder vallen zijn beschreven in bijlage A).

Lezers die de achtergronden en de veiligheidsfilosofie voor het gebruik en toepassen van mobiele keringen willen weten, worden verwezen naar hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk wordt onder meer aandacht besteed aan de verschillende fasen in de sluitingsprocedure, de invloed van de aard van het hoogwater (stijgsnelheid e.d.), de veiligheidsnorm waar aan voldaan moet worden en specifieke aspecten ten aanzien van het toepassen in primaire of secundaire keringen, de economie van het waterkeren en aanverwante zaken.

Hoofdstuk 4 beschrijft de aspecten waar rekening mee gehouden moet worden in het ontwerp. Per fase wordt steeds aangegeven op welke wijze in het algemeen de hoogste betrouwbaarheid gehaald wordt (op basis van de Leidraad Kunstwerken [1]) en wat de praktische zaken zijn waar rekening mee gehouden moet worden bij het ontwerpen, c.q. toetsen van een mobiele kering.

In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe de veiligheid zoals die te behalen is met een maximale inzet van middelen economisch overwogen kunnen worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar niet alleen de aanschafkosten van een bepaald type mobiele kering maar ook naar de jaarlijkse vaste en variabele kosten en hoe deze om te zetten naar een Netto Contante Waarde (NCW) waarmee de verschillende opties (economisch) tegen elkaar kunnen worden afgewogen. Ook wordt hierbij gekeken naar de effectiviteit, die afhankelijk is van de niveaus die steeds een nieuwe fase in het sluitingsproces inluiden. Immers, niet elke overschrijding van een niveau leidt tot het optreden van het daaropvolgende niveau en soms zullen een of meerdere fasen ook doorlopen worden als daar geen noodzaak toe is.

Het feitelijke keuzemodel wordt beschreven in het stappenplan in hoofdstuk 6. In het stappenplan wordt het proces beschreven waarmee tot een weloverwogen keuze van een generiek type mobiele keringen gekomen kan worden. De uitkomst van het keuzemodel zijn kosten (in NCW) per generiek type, waarbij alle mogelijke (herstel)maatregelen om de sluitingsprocedure zo betrouwbaar mogelijk te maken in kosten zijn uitgedrukt en waarbij rekening gehouden is met de frequentie van optreden van de verschillende fasen. Het keuzemodel beveelt in principe alleen generieke typen kering aan, waarbij de gebruiker een goed beeld krijgt van de benodigde inspanning voor veilige toepassing. De uiteindelijke keuze is aan de beheerder die moet besluiten of hij voor een voorgesteld type generieke kering, gegeven de inspanning die hij moet leveren om de kering tijdig te kunnen sluiten, al dan niet de verantwoording op zich wil nemen.

Bijlage A beschrijft de generieke systemen. De generieke systemen zijn afgeleid uit de systemen die tijdens de inventarisatie (2007) zijn aangetroffen op de markt. De generieke systeembeschrijving bevat de benodigde gegevens voor het gebruik van het keuzemodel.

De systemen die zijn geïnventariseerd in de markt zijn per stuk beschreven in bijlage B. Het is mogelijk om hier meer specifieke gegevens uit te putten voor het maken van een definitieve keuze of ontwerp. Voor het keuzemodel waren deze beschrijvingen de basis voor het ontwikkelen van generieke systemen.

Om gebruikerservaringen in het keuzemodel op te nemen zijn in totaal 12 interviews gehouden. De opzet van de interviews is ontwikkeld met de begeleidingscommissie en telefonisch afgenomen. De resultaten zijn weergegeven in bijlage C, waarin zowel de overzichtstabel met resultaten is opgenomen als het gebruikte interviewformulier dat de geïnterviewden voorafgaand aan de telefoongesprekken toegezonden hebben gekregen.

Tot slot zijn in bijlage D een achttal casussen opgenomen. Deze casussen hadden tot doel om op basis van werkelijke situaties het keuzemodel te toetsen en verifiëren. Voorafgaand aan deze casussen is steeds een veldbezoek uitgevoerd en is gesproken met beheerders die nauw betrokken zijn bij het in werking stellen van de mobiele keringen in het geval dat deze er in de huidige situatie al waren.

Bijlage E betreft de beschrijving van het model waarmee de beschikbare tijd kan worden bepaald. Het keuzemodel zelf is als stroomschema weergegeven op de uitvouwkaart in bijlage F.

# 2

## GENERIEKE SYSTEMEN MOBIELE KERING

Zoals al opgemerkt wordt in het keuzemodel voor mobiele keringen onderscheid gemaakt tussen twee hoofdtypen keringen, namelijk demontabele keringen en tijdelijke keringen. Bij de formulering van het keuzemodel is een groot aantal op de markt beschikbare mobiele keringen geïnventariseerd. Omwille van de duidelijkheid zijn de geïnventariseerde keringen onderverdeeld naar 7 generieke subtypen; 4 demontabele en 3 tijdelijke subtypen. Deze worden in het hiernavolgende kort toegelicht.

### 2.1 DEMONTABELE KERINGEN

Zoals opgemerkt in het voorgaande hoofdstuk zijn demontabele keringen waterkeringen waarvan een deel van de constructie alleen bij dreigend hoogwater wordt opgebouwd en waarvan gedurende normale omstandigheden slechts een deel van de constructie achter blijft in het waterkeringstraject.

Op de markt zijn vele verschillende type uitvoeringen beschikbaar. In het keuzemodel is onderscheid gemaakt tussen de volgende vier subtypen keringen:

D1: Schotbalksystemen	Dit zijn systemen waarbij schotbalken of platen (hout, aluminium, kunststof, et cetera) tussen (zij)steunpunten op elkaar worden gestapeld. Wanneer de kering op de gewenste hoogte is gebracht worden de schotbalken verankerd om verschuiving en afdrijven te voorkomen. Tussen de afzonderlijke schotbalken is doorgaans een rubber profiel aanwezig ter afdichting. Schotbalksystemen kunnen zowel enkel als dubbel uitgevoerd zijn: het oude houten schotbalkstelsel bestaat uit houten balken met daartussen een mengsel van stro en paardenmest.
D2: Opklapbare deursystemen	Het meest voorkomende type deursysteem is het opklapbare deursysteem dat veelal vanuit een 'liggende' positie (uit de ondergrond) wordt opgetrokken wanneer de waterkerende functie vereist is (verticale rotatie om x-as). Deursystemen die vanuit de grond opklapbaar zijn hebben een (veel) grotere maximale lengte waardoor ze meer geschikt zijn voor langere trajecten.
D3: Schuivende deursystemen	Schuivende deursystemen zijn systemen waarbij kerende segmenten schuivend in de horizontale of verticale richting 'in stelling' worden gebracht. Bij verticale schuivende deursystemen kan het segment zowel vanuit een verzonken ruststand op worden getrokken als vanuit een hangende positie worden neergelaten. Schuivende deursystemen vergen weinig installatietijd, maar hebben een relatief kleine maximale lengte.
D4: Draaiende deursystemen	Draaiende deursystemen zijn systemen waarbij het kerende segment middels een 'eenvoudige' draaibeweging (horizontale rotatie om z-as) in werking wordt gebracht (zoals men ook een voordeur zou openen en sluiten).

### 2.2 TIJDELIJKE KERINGEN

Tijdelijke waterkeringen verschillen van demontabele waterkeringen in die zin dat er onder normale omstandigheden niets achterblijft in de omgeving. In het keuzemodel is onderscheid gemaakt tussen de volgende drie subtypen keringen:



T1: Vulcontainers	Onder vulcontainers wordt verstaan alle systemen die bestaan uit naast elkaar geplaatste delen welke worden gevuld met een ander materiaal. Onderscheid kan gemaakt worden tussen systemen die bestaan uit (gewapend) geotextiel en systemen die bestaan uit kunststof. De systemen worden in het algemeen middels een plakstrip, ring of metalen pin aan elkaar gekoppeld om waterdichtheid te garanderen.
T2: Systemen gevuld met water of lucht	Systemen gevuld met lucht of water bestaand uit flexibele buizen, die door middel van het opvullen met lucht of water tot een kering worden getransformeerd. De leidingen bestaan uit kunststof, soms afgedekt met geotextiel. Door de flexibele aard van de systemen sluiten deze goed aan op de ondergrond.
T3: Vrijstaande keermiddelen	Vrijstaande keermiddelen bestaan uit stalen frames, welke met verschillende materialen worden bedekt. De stalen frames worden op hun plaats gehouden door bijvoorbeeld het gebruik van pallets of balken. Ook kunststofconstructies zijn op de markt beschikbaar. Het systeem wordt afgedekt met een membraan om de constructie waterdicht te maken.

### 2.3 OVERZICHTSTABEL GEÏNVENTARISEERDE KERINGEN

In de onderstaande tabel zijn de geïnventariseerde mobiele keringen ingedeeld in de hiervoor beschreven typen en subtypen.

Type	Subtype	Voorbeelden
Demontabele keringen	D1: Schotbalksystemen	Antiflood barrier system BAUER-IBS flood protection system BL/HAP-SB floodwater barrier Flood Guard (en Flood Dam K) Intovalse 'Stoplog' removable flood barrier Invisible Flood Control Wall (IFCW) TKR Aluminium Dammbalken system Wasser-Wand Wibbeler
	D2: Opklapbare deursystemen	Dutchdam Hydraulic barrier Presray Flood Gates TKR Hochwasserschutz Klappsystem
	D3: Schuivende deursystemen	Ferndon Flood Gates Self Closing Flood Barrier (SCFB) / Self Closing Wall (SCW)
	D4: Draaiende deursystemen	Voor dit subtype mobiele kering zijn geen voorbeelden behandeld
Tijdelijke keringen	T1: Vulcontainers	Big Bag Harbeck GmbH Dura-Bell Barricade Hesco Concertainer Bastion MRP Systems Modular Shielding Quickdam Damm Flood Safety System Zandzakken
	T2: Systemen gevuld met water of lucht	Aquadam Aquatube FloodMaster barrier Mobile Dam NOAQ tubewall
	T3: Vrijstaande keermiddelen	Water-Gate instant waterkering Richardson flood control panel barriers Rapidam Portadam Pallet Barrier Betonblokken Aquastopdam

# 3

## VEILIGHEIDSFILOSOFIE EN ACHTERGRONDEN

### 3.1 FILOSOFIE

Het betreft hier een kwalitatief keuzemodel. Het kwantificeren van faalkansen aan (onderdelen van) specifieke generieke typen mobiele keringen viel buiten de bestaande opdracht. Daarom is gekozen voor een praktische benadering, namelijk dat het mogelijk moet zijn om een mobiele kering comfortabel binnen de beschikbare tijd op te bouwen. Onder het bouwen van de kering wordt verstaan het succesvol doorlopen van de waarschuwingsfase, mobilisatiefase en de fase waarin de kering ter plaatse wordt opgebouwd. Hierbij wordt de invloed van de systeemkeuze per fase groter.

Om goed te kunnen beoordelen of een generiek systeem comfortabel binnen de beschikbare tijd kan worden opgebouwd, zal veel afhangen van de kwaliteit van de voorspelling van de waterstandsontwikkelingen. Deze is betrekkelijk goed generiek te bepalen. Om ervoor te zorgen dat een gekozen generiek systeem bij nadere detaillering ook voldoet aan de veiligheidseisen moet de meeste (reken)energie gestoken worden in het verwerven van statistisch inzicht in de waterstandsontwikkelingen (frequentie van optreden van peilen waarbij de verschillende fasen in gaan en de tijd die voor deze afzonderlijke fasen beschikbaar is).

Het staat de gebruiker vrij om de niveaus waarbij de verschillende fasen aanvangen te kiezen en dus invloed uit te oefenen op de tijd die voor de afzonderlijke fasen beschikbaar is. Het keuzemodel verschaft daarbij direct inzicht in de gevolgen van een keuze of wijziging van een peil doordat de tijd en frequentie van optreden wijzigen; dit heeft invloed op de betrouwbaarheid, leidt daarom tot een andere set (nood)maatregelen en beïnvloedt dus de kosten (zie kader 1).

In het hiernavolgende wordt dieper ingegaan op de achtergronden bij deze filosofie.

**KADER 1: DE ECONOMIE VAN (MOBIEL) WATERKEREN**

Gebleken is dat in het geval van gebruik van mobiele keringen de economie vaak een ondergeschikte rol speelt: de noodsituatie dient het hoofd geboden te worden waarbij kosten noch moeite gespaard mogen worden. Deze insteek is plausibel wanneer beredeneerd vanuit een actuele noodsituatie waarbij er onverwacht iets mis dreigt te gaan. Bekeken vanuit een ontwerpsituatie is de insteek dat de noodsituatie zich niet voor doet (oftewel: het systeem voldoet gewoon aan de eisen en de beheerder is in staat om het water veilig te keren). De kering wordt immers ontworpen om te voldoen aan de veiligheidsnorm. Dit betekent dat ook rekening gehouden moet worden met 'verwachte' noodmaatregelen die per type mobiele kering verschillend kunnen zijn. Deze noodmaatregelen brengen ook per type mobiele kering kosten met zich mee, hetzij in aanschaf van materieel, hetzij in extra personeel of beiden. Door deze verwachte noodmaatregelen in kosten uit te drukken is het goed mogelijk om een economische overweging te maken tussen verschillende systemen en een weloverwogen keuze te maken, waarbij zowel de aanschafkosten als de gebruikskosten in relatie tot de maximaal haalbare veiligheid betrokken worden.

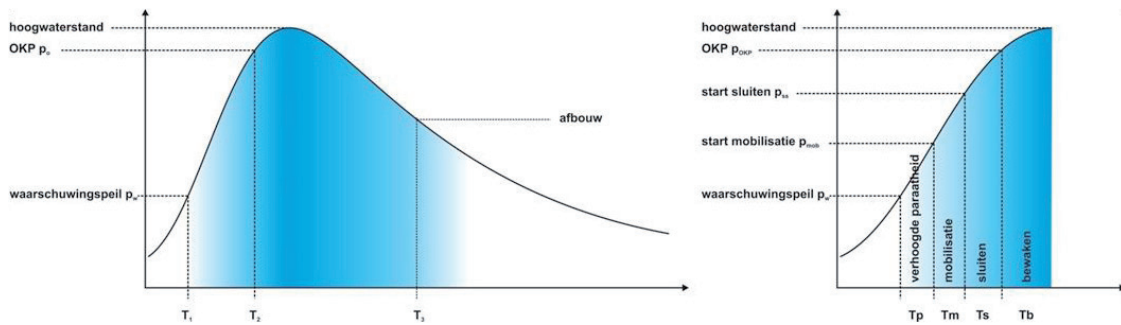
**3.2 ACHTERGRONDEN VEILIG GEBRUIK MOBIELE KERINGEN**

In het algemeen bestaat het inzetten van een mobiele kering uit een waarschuwingsfase, mobilisatiefase, bouwfase en gebruiksfase. De procedure vangt aan op het moment dat het hoogwaterwaarschuwingssysteem registreert dat het waarschuwingspeil ( $P_w$ ) is opgetreden (zie figuur 3.1). Vanaf dat moment breekt het stadium van verhoogde staat van paraatheid aan. De verhoogde staat van paraatheid betekent dat de ontwikkelingen in de waterstand gevolgd worden en mensen bereikbaar moeten zijn voor het geval dat de kering gesloten moet worden. Indien de waterstand verder stijgt en de weersomstandigheden daar aanleiding toe geven, wordt bij een bepaald peil het besluit genomen om te gaan mobiliseren ( $P_{mob}$ ). Indien het stijgen van de waterstand aanhoudt en het sluitpeil ( $P_{ss}$ ) dreigt te gaan worden overschreden, wordt het besluit genomen om de mobiele waterkering ook daadwerkelijk te gaan opbouwen.

Op het moment dat het Open Keer Peil (OKP) wordt overschreden moet de kering gesloten zijn; voor alle mobiele keringen geldt dat het opbouwen van de kering bij wateroverlast dusdanig bemoeilijkt wordt dat het niet zeker is of de kering ook gesloten zal zijn bij het bereiken van de hoogwaterstand. Vanaf de gesloten toestand tot het moment dat de waterstand lager is dan het sluitpeil en zekerheid bestaat over het verder dalen ervan kan de mobiele kering worden afgebroken ( $T_3$ ).

Gemakshalve is het OKP gelijk gesteld aan de Open Keer Hoogte (OKH) omdat het bij geen van de typen tijdelijke of demontabele keringen mogelijk is om de kering succesvol te sluiten bij een beperkte wateroverlast ter plaatse.

FIGUUR 3.1 VERSCHILLENDE FASEN IN HET GEBRUIK VAN TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

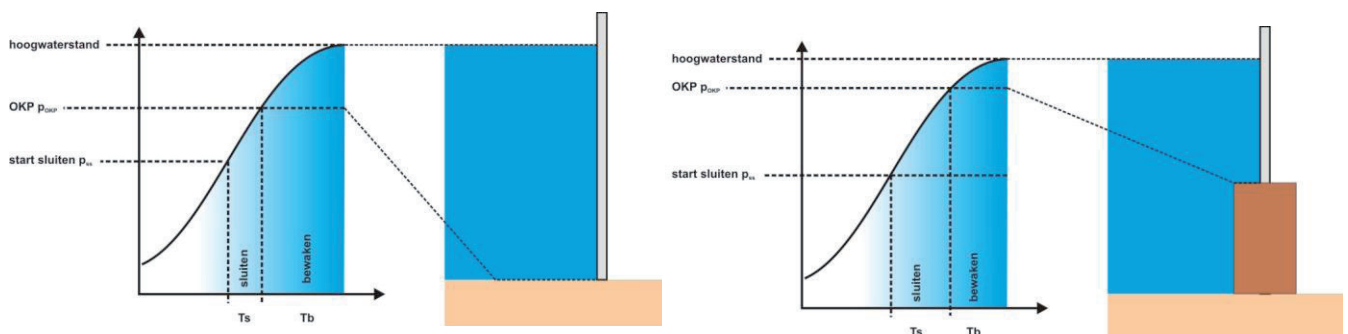


Het sluiten van de mobiele kering dient dus te worden uitgevoerd tussen  $T_1$  en  $T_2$ . De aard van het hoogwater (stijgsnelheid, duur) speelt dan ook vanzelfsprekend een grote rol bij de keuze tussen een vaste kering en een mobiele kering, danwel de keuze tussen de verschillende generieke typen mobiele keringen. Tussen het opbouwen en weer afbreken bestaat de operationele fase uit het bewaken, c.q. in standhouden van de mobiele kering.

De keuze van waarschuingspeil ( $P_w$ ), mobilisatiepeil ( $P_{mob}$ ) en het peil waarop aangevangen moet worden met het sluiten ( $P_{ss}$ ) is in principe een vrije keuze: een vroeg waarschuingspeil  $P_w$  gaat gepaard met meer onzekerheid in de voorspelling rond het bereiken van het volgend peil (in dit geval  $P_{mob}$ ). Dit betekent dat er een grotere kans is op het (onnodig) uitvoeren van de fase die hierop volgt. De keuze van het waarschuingspeil is daarmee in belangrijke mate ook een economische afweging. Overigens gaat het bij het economische element niet alleen over de feitelijke kosten van het sluiten, maar ook over de hinder die gedurende de sluiting ontstaat en de afbreuk aan vertrouwen van het publiek vanwege het onnodig opzetten van de kering.

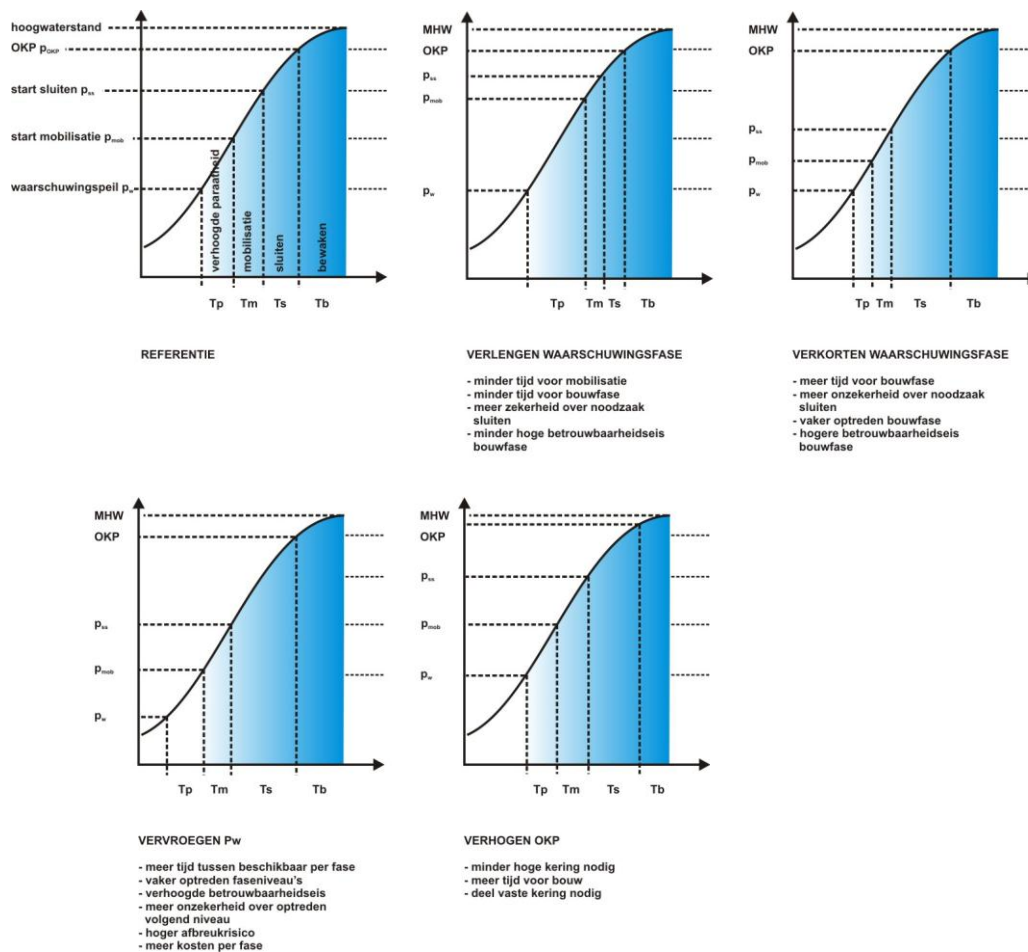
Een hoger waarschuingspeil maakt dat er weliswaar meer zekerheid is ten aanzien van de verwachte hoogwaterstand, maar heeft ook tot gevolg dat er minder tijd beschikbaar is voor het opbouwen van de mobiele kering. Voor de keuze van het OKP geldt verder dat een lager OKP een hogere mobiele kering vergt waardoor er in principe meer tijd nodig zal zijn voor het opbouwen en er waarschijnlijk een constructief zwaardere kering nodig is, terwijl een hoger OKP een lagere mobiele kering vergt die daardoor doorgaans sneller opgebouwd kan worden (zie de figuur hierna) en waarbij de constructieve eisen beperkter zijn.

FIGUUR 3.2 INVLOED OKP OP BOUWTIJD KERING



Een aantal beheersstrategieën die gevolgd kunnen worden bij het kiezen van de fasen zijn in onderstaande figuren geïllustreerd met de consequenties voor de beheersorganisatie.

FIGUUR 3.3 ILLUSTRATIE SCENARIO'S PEILKEUZE T.O.V. REFERENTIE



Deze keuzevrijheid heeft ook gevolgen voor de beschikbare faalkansruimte voor het sluiten (zie kader 2). Immers, de faalkansruimte is het product van de faalkans van een activiteit maal het aantal keren dat de activiteit moet worden uitgevoerd per jaar. Dit betekent dus dat de keuze van het OKP (en alle andere niveaus die onderscheiden wordt in het proces) van invloed is op de geschiktheid van een bepaald type generiek systeem: als de faalkansruimte ( $0,1 \times \text{norm}$ ) blijft gelijk dus moet de faalkans voor een individuele activiteit afnemen wanneer het desbetreffende niveau vaker voor komt, immers (zie kader 2 en LKW):

$$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel,ns}}\} < 0,1 \times \text{norm}$$

Ondanks dat er dus mogelijk meer tijd beschikbaar is voor een fase omdat het startpeil ervan laag ligt, betekent dit ook dat het minder vaak fout mag gaan en dus moet de faalkans per vraag minder groot zijn. Dit blijkt als voorgaande vergelijking herschreven wordt naar:

$$P_{ns} \cdot n_j < 0,1 \times \text{norm}$$

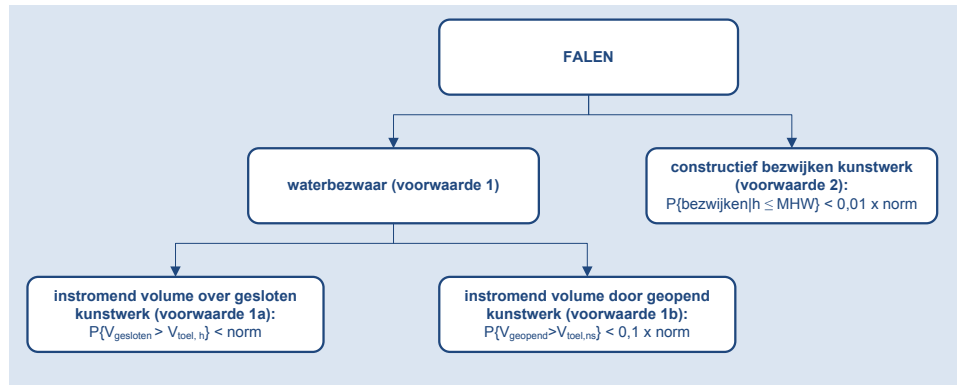
waarin:

$P_{ns}$ , de kans op onbedoeld niet sluiten gegeven de noodzaak [faalkans per vraag]

$n_j$ , het aantal keren dat de mobiele kering gesloten moet worden [vragen per jaar]

## KADER 2: VEILIGHEIDSFILOSOFIE WATERKERENDE KUNSTWERKEN

Onderstaande figuur geeft het schema voor de overbelastingsbenadering voor een waterkerend kunstwerk. De voorwaarden die gesteld worden aan een waterkerend kunstwerk zijn dat er, 1) geen overschrijding is van het toelaatbare instromend volume en dat 2) het kunstwerk niet constructief bezwijkt. De eis ten aanzien van het toelaatbare volume is onder te verdelen naar 1a) het instromend volume over een gesloten kering en 1b) het instromend volume door een geopend kunstwerk.



In het schema is  $P\{V_{\text{gesloten}} > V_{\text{toel,h}}\}$  de kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume  $V_{\text{toel,h}}$  via het gesloten kunstwerk, leidend tot waterbezwaar.  $P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel,ns}}\}$  is de kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar volume  $V_{\text{toel,ns}}$  via het geopende kunstwerk, leidend tot waterbezwaar.  $P\{\text{bezwijken} \mid h \leq \text{MHW}\}$  is de kans per jaar op constructief bezwijken van het kunstwerk, c.q. de mobiele kering, gegeven geen overschrijding van de normomstandigheden. De norm is de ontwerp- of normfrequentie als vastgelegd in de Wet op de Waterkering (WoW): 1/250, 1/500, 1/1.250, 1/2.000, 1/4.000 of 1/10.000 per jaar.

### VOORWAARDE 1:

Geeft de kans dat er waterbezwaar optreedt ondanks dat de kering gesloten is. Deze moet gelijk zijn aan de norm (per jaar) waarvoor deze is ontworpen. De kans op waterbezwaar door falen van sluiting mag niet groter zijn dan 0,1 x norm, ofwel een orde grootte kleiner dan de kans op falen via een gesloten kunstwerk. De belangrijkste reden voor deze laatste voorwaarde is dat het optreden van waterbezwaar achter het kunstwerk bij normale buitenwaterstanden, maatschappelijk minder acceptabel is.

### VOORWAARDE 2:

De kans op constructief bezwijken van de waterkering bij een waterstand kleiner of gelijk aan MHW mag niet groter zijn dan 0,01 x norm. De achterliggende reden hierbij is dat de gevolgen bij een gesloten kering in de regel een orde groter zullen zijn dan wanneer het toelaatbaar instromend volume water wordt overschreden tijdens de sluiting. Dit hangt ook samen met de gevolgen voor de rest van de constructie. Immers, dit progressieve karakter van falen kan snel leiden tot onbeheersbare en veel ergere situaties dan wanneer de kering (niet volledig) is gesloten.

Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken, bijlage 1 [1].

Als de vraag ( $n_j$ ) vaak voorkomt, zal de faalkans per vraag ( $P_j$ ) kleiner moeten zijn om toch te voldoen aan de vraag. Dit geldt in feite voor iedere handeling in de procedure vanaf het moment dat fase 1 start tot dat de mobiele kering gesloten is aan het einde van fase 3. Dit houdt dus rechtstreeks verband met de keuze van de niveaus waarbij de opeenvolgende fasen in werking treden en hoe vaak deze voorkomen. Hierbij geldt natuurlijk dat het verlengen van de beschikbare tijd door aanpassing van de niveaus positief is voor de betrouwbaarheid per sé.

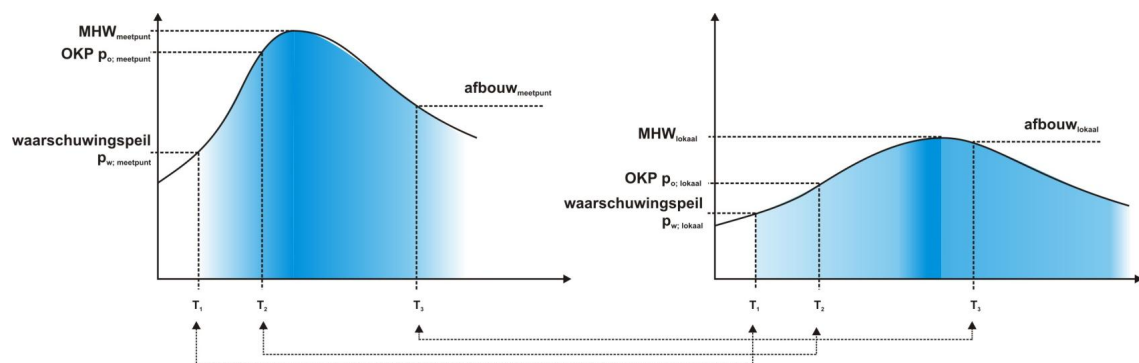
Het is dus belangrijk dat de beheerder, naast de economische afweging, ook de meer subjectieve afweging maakt of hij zich in staat acht om een bepaald type (generieke) mobiele kering effectief te kunnen sluiten als hij dat vaak moet doen. Het spreekt voor zich dat de eenvoudigere en bewezen mobiele keringen hierbij de voorkeur hebben boven de meer ingewikkelde typen mobiele keringen.

### 3.3 HET VOORSPELLEN VAN DE BESCHIKBARE TIJD

Langs de bovenrivieren start de sluitingsprocedure doorgaans met het overschrijden van een afvoer of waterstand. Deze overschrijding wordt meestal gemeten op een andere locatie dan de locatie waar de kering wordt opgebouwd en verantwoordelijkheid voor het meten en voorspellen van de waterstandsontwikkeling is daarbij in handen van Rijkswaterstaat. Voor de bovenrivieren wordt meestal rekening gehouden met het overschrijden van een afvoer bij Borgharen of Lobith. Vanaf het moment van overschrijden wordt de waterstandsontwikkeling gevolgd door de beheerder van de waterkering die daarbij ook zorg draagt voor het in werking stellen van de verschillende fasen (zie paragraaf 2.2).

Omdat de meting van Rijkswaterstaat op een andere plaats geschiedt dan waar de kering wordt opgebouwd zal de vorm van de afvoergolf ter plaatse anders zijn dan die bij het meetpunt. Dit heeft te maken met de veranderingen in het stroombed van de rivier. In de figuur hieronder is aangegeven op welke wijze de overschrijding bij het meetpunt van Rijkswaterstaat vertaald kan worden naar de locatie van opbouw. De verschillende waterstandsniveaus waarbij steeds de volgende fasen na het eerste waarschuwingspeil optreden worden meestal wel lokaal gevolgd.

FIGUUR 3.4 VERSCHIL IN WATERSTANDSONTWIKKELING LOKAAL VS MEETPUNT



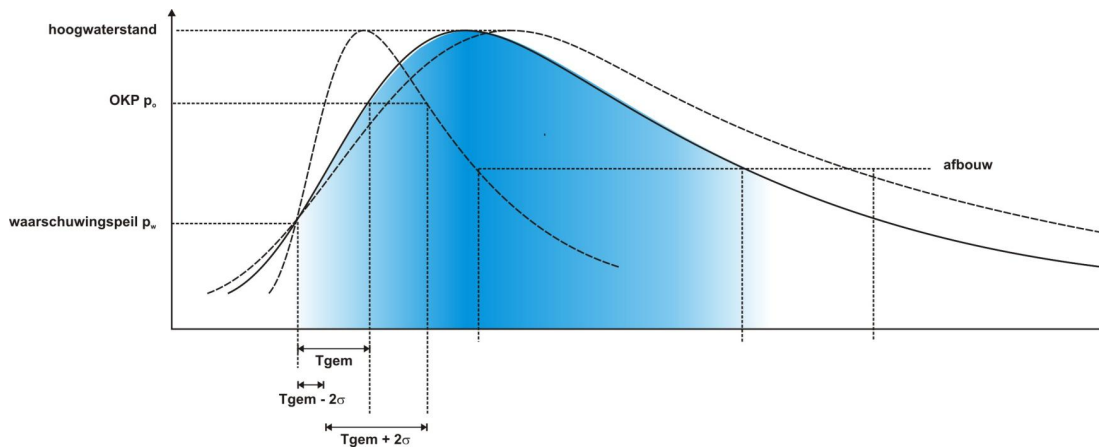
Er bestaat een grote variatie in afvoergolven. Dit betekent dat er dus niet één vaste ontwikkeling is in de waterstand waardoor de tijd die beschikbaar is ook zal variëren. De beschikbare tijd is daarmee dus met de nodige onzekerheid omgeven. Omdat de beschikbare tijd in de voor het keuzemodel gekozen filosofie van doorslaggevende betekenis is, moet rekening gehouden worden met de onzekerheden in deze voorspelling van beschikbare tijd.

Het criterium dat de beheerder in staat moet zijn om de kering comfortabel binnen de beschikbare tijd op te bouwen leidt tot de aanbeveling de gevoeligheid te beschouwen bij een beschikbare tijd die in 95 tot 99% van de gevallen wordt overschreden. De onzekerheidsbandbreedte rond de tijd kan per fase variëren en verschillen van de bandbreedte rond de totaal te doorlopen fasen (zie figuur 3.5).

Voor het bepalen van de tijd die in 95 tot 99% van de gevallen wordt overschreden, wordt verwezen naar bijlage E. In deze bijlage wordt een computerprogramma toegelicht dat op basis van historische afvoerreeksen op de Rijntakken inzicht geeft in de gemiddeld beschikbare tijd, de tijden die in 95% en 99% van de gevallen worden overschreden en de globale kansen van voorkomen ervan.

Lukt het niet om de kering binnen deze tijd op te zetten, dan wordt, zoals al eerder opgemerkt verwacht dat het niet mogelijk zal zijn om met de gekozen mobiele kering te voldoen aan de veiligheidsnorm bij een gedetailleerde risicoanalyse / ontwerp.

FIGUUR 3.5 ONZEKERHEIDSBANDBREEDTE ROND HOOGWATERKARAKTERISTIEK





**KADER 3: ERVARING VERSUS STATISTIEK**

Uit de casus voor de waterkering in de Roer is gebleken dat de bandbreedte rond de beschikbaar veronderstelde tijd behoorlijk groot was. Het ervaringscijfer dat tussen het waarschuwingspeil (overschreden in Borgharen) en het optreden van het OKP te Roermond circa 48 uur zat, bleek af te wijken van de statistische waarde: Analyse van historische afvoeren leidde tot de conclusie dat de minimaal beschikbare tijd circa 11 uur bleek te zijn en de maximale tijd circa 47 uur. Bij een normaalkansverdeling bedroeg de gemiddeld beschikbare tijd circa 29 uur.

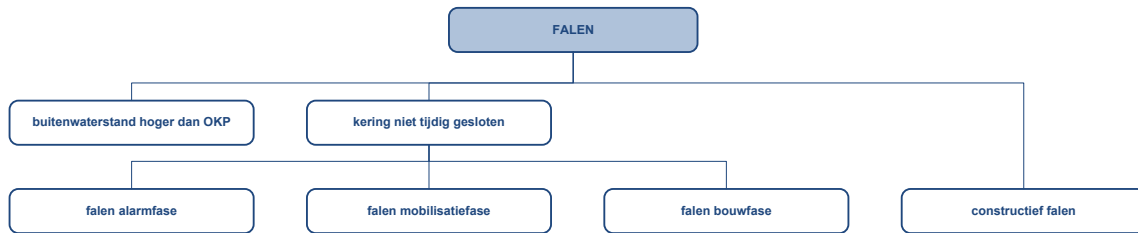
De benodigde tijd voor het doorlopen van de alarmfase, mobilisatiefase en bouwfase bleek echter orde 33 uur te vergen. Gezien de complexiteit van de mobilisatie bij het daar gekozen systeem, kan gesteld worden dat de verhouding tussen de beschikbare en benodigde tijd alles behalve comfortabel was en er gemiddeld genomen zelfs al een tekort van 4 uur zou zijn. Bij een gedetailleerde faalkansanalyse bleek dan ook dat de kering niet voldeed aan de wettelijke norm. Dit geeft het belang weer van een goede onderbouwing van de externe omstandigheden vanwege de grote invloed op de uiteindelijke keuze.

Uiteindelijk is in de Roer dan ook gekozen voor een deursysteem (D2) dat wel comfortabel binnen de beschikbare tijd te sluiten is. Het oude systeem betrof een systeem van grote schotbalken die met een kraan in de sponningen werd gehesen. Dit ging gepaard met een uiterst complexe mobilisatie en bouwfase, waarbij materiaal over zowel land als water (met beperkingen in doorvaarthoogte) gemobiliseerd en gebouwd moest worden. Het vervallen van de mobilisatiefase geeft minder hinder voor de omgeving, ook bij het onnodig sluiten. Verder is een belangrijke kostenreductie bewerkstelligd, wederom vanwege de sterk vereenvoudigde sluitingsprocedure in relatie tot het aantal keren dat de kering gesloten moest worden (de laatste 10 jaar is de kering 3 maal gesloten).

**3.4 DE SLUITINGSPROCEDURE**

Op basis van het hiervoor beschreven veiligheidsprincipe kan in praktische zin gesteld worden dat een mobiele kering faalt als de buitenwaterstand hoger is dan het OKP en de kering niet tijdig gesloten is. Dit is afhankelijk van de mate waarin een organisatie in staat is om de kering tijdig te sluiten. Falen van de sluitingsprocedure is grofweg terug te brengen tot het falen van het verhogen van de staat van paraatheid ( $T_p$ ), de mobilisatie van mensen en materieel ( $T_{mob}$ ) en het feitelijke bouwen van de kering ter plaatse ( $T_s$ ). Falen van het hoogwaterwaarschuwingssysteem ligt doorgaans buiten de verantwoordelijkheid van de beheerder van de waterkering. Falen langs deze weg wordt hier verder niet behandeld: bij een goed constructief ontwerp zal de kans op constructief falen een ordegrrootte kleiner zijn (en gaat dit wel ten koste van de faalkansruimte). Indien de buitenwaterstand hoger is dan het OKP terwijl de kering wel gesloten is, kan de mobiele kering tenslotte nog constructief falen. Aldus ontstaat de volgende vereenvoudigde maar van het schema in kader 1 afgeleide foutenboom.

FIGUUR 3.6 AFGELEIDE FOUTENBOOM VOOR FALEN MOBIELE KERING



Het constructief falen van een keermiddel heeft in het geval van demontabele keringen maar een beperkt aandeel.

De tijd die beschikbaar is tussen het bereiken van het eerste waarschuwingspeil  $T_1$  tot het bereiken van het tijdstip waarop de kering weer geopend mag worden ( $T_3$ ) is dus onder te verdelen naar:

- de alarmfase (fase 1);
- de mobilisatiefase (fase 2);
- de sluitfase (fase 3);
- de gebruiksfase (fase 4).

Hierbij neemt de invloed van specifieke kenmerken van de verschillende mobiele systemen op het succesvol doorlopen van deze fasen toe vanaf de alarmfase tot de bouwfase.

### ALARM (FASE 1)

Het verhogen van de staat van paraatheid is volledig afhankelijk van de interne organisatie. Het gaat hier om de handelingen die direct na het ontvangen van de (voor)waarschuwing verricht worden om de staat van paraatheid te verhogen. De efficiency waarmee dit gebeurt, is van invloed op de hoeveelheid beschikbare tijd voor de daaropvolgende fasen. Het gekozen mobiele waterkeringssysteem op zich, heeft echter geen directe invloed op de betrouwbaarheid van het afronden van deze fase.

### MOBILISATIE (FASE 2)

De betrouwbaarheid van slagen van de mobilisatie is afhankelijk van de mate waarin de organisatie in staat is om, gegeven de omgevingsfactoren (toegangswegen, ruimtegebruik etc), het benodigde materiaal ter plaatse af te leveren vanaf een eventuele opslagplaats. Het gekozen systeem is van invloed op betrouwbaarheid van het slagen van deze fase, via de hoeveelheid onderdelen en de omvang ervan. De keuze van een opslag locatie is doorgaans minder afhankelijk van het gekozen systeem, al spelen omvang van het systeem en vereiste aard van opslag wel een rol.

### SLUITEN (FASE 3)

De betrouwbaarheid van slagen van het opbouwen van de mobiele kering is volledig afhankelijk van de mate waarin de interne organisatie effectief is ingericht op het opbouwen van de mobiele kering. Aspecten als complexiteit en omvang van de mobiele kering spelen daarbij een rol, maar ook de mate van training en achtergrond van het personeel. In de gevallen waarin de bouw van de mobiele kering is uitbesteed aan een aannemer, dient hier zowel bij ontwerp als toetsing extra aandacht aan besteed te worden.

**BEWAKEN (FASE 4)**

Hierbij is met name de constructie zelf in relatie tot de omgeving een belangrijk punt van aandacht. Gedacht kan worden aan aspecten als ondergrond en aansluiting op bestaande constructies, maar ook aan het al dan niet in de bebouwde kom staan van een mobiele kering vanwege gevoeligheid voor vandalisme.

**3.5 VERTALING NAAR EEN BETROUWBAARHEIDSEIS OM TE VOLDOEN AAN DE VEILIGHEIDSNORM**

Het is mogelijk om aan de hand van de hieronder weergegeven eenvoudige benadering en kader 2, de faalkansruimte per gebeurtenis (zij het zeer globaal) te schatten. Hierbij worden aannames gedaan ten aanzien van de betrouwbaarheid van succesvol doorlopen van de waarschuwingfase en de mobilisatiefase omdat op deze fasen de keuzen van een type mobiele kering beperkt van invloed is. Omdat de totale faalkansruimte afgeleid is van de veiligheidsnorm en omdat deze in de meest eenvoudige vorm het product is van alle opeenvolgende fasen, is op basis van deze aannames een indicatie van de faalkansruimte te bepalen. Alhoewel sterk vereenvoudigd en indicatief geeft dit getal wel aan hoe gemakkelijk of moeilijk het zal zijn om bij toepassing van een mobiele kering te voldoen aan de voorwaarden van een primaire kering. Voorts wordt opgemerkt dat de faalkansruimte afhankelijk is van het aantal keren dat een gebeurtenis optreedt.

De faalkansruimte voor het falen van de sluitingsprocedure is  $0,1 \times$  de norm (zie paragraaf 3.2). Dit betekent dat de betrouwbaarheid van sluiten langs bijvoorbeeld de Maaskaden 1 - ( $0,1 \times 1/250 = 1/2.500$  per jaar) moet zijn en langs het bovenbeloop van de Rijntakken 1 - ( $0,1 \times 1/1.250 = 1/12.500$  per jaar) moet bedragen. Wanneer deze fasen serieel doorlopen worden dan is, in praktische zin, de faalkansruimte per gebeurtenis gelijk aan de som van de faalkans van iedere individuele gebeurtenis maal het aantal keren dat het OKP optreedt.

De orde grootte faalkans van de alarmfase, ofwel het verhogen van de staat van paraatheid, is doorgaans orde  $10^{-5} / 10^{-6}$  per gebeurtenis groot (de invloed van het externe waarschuwingssysteem buiten beschouwing latende). Dit is afhankelijk van het gekozen systeem en een zuiver intern organisatorische aangelegenheid. De faalkans van de mobilisatiefase zal, indien goed nagedacht is over de toegankelijkheid en te vervoeren systemen doorgaans orde  $10^{-4} / 10^{-5}$  per gebeurtenis bedragen, waarbij de grootste betrouwbaarheid behaald wordt bij systemen die als geheel lokaal aanwezig zijn en alleen maar gesloten hoeven te worden, bijvoorbeeld deursystemen (D2) en klepsystemen (D3) voor grote lengte. Voor het rekenvoorbeeld is gemakshalve aangehouden dat demontabele keringen en tijdelijke keringen een gelijke betrouwbaarheid in mobilisatie hebben van orde  $10^{-4}$  per gebeurtenis.

Onderstaande tabel geeft als voorbeeld voor de Maaskaden en het bovenbeloop van de Rijn aan wat de faalkans mag zijn voor de bouwfase, gegeven de orde grootten faalkansen voor mobilisatie en de alarmfase en een OKP dat  $1/3$  maal per jaar voor komt. Uit het eenvoudige rekenvoorbeeld blijkt dat hiermee de faalkansruimte voor het bouwen van de kering relatief streng te noemen is, namelijk  $1/10$  per gebeurtenis.

Het is daarom te rechtvaardigen om bij het gebruik van mobiele keringen onder alle omstandigheden het maximale aan herstelmaatregelen voor te schrijven waarmee de faalkans van met name de bouwfase sterk verkleind kan worden. Zelfs dan zal het doorgaans nog moeilijk zijn om in een detailontwerp te voldoen aan de eis van  $0,1 \times$  norm per jaar (sluitfase) of  $0,01 \times$  norm (gebruiksfase).

Voor wat betreft de faalkans tijdens de gebruiksfase ( $T_2 - T_3$ ) geldt dat voldaan moet worden

aan de voorwaarde 0,01 x norm per jaar (zie kader 1). De kans op falen van een constructie is bijzonder klein, mits goed ontworpen en op basis van de juiste ontwerprandvoorwaarden. Wanneer de demontabele of tijdelijke kering eenmaal is opgebouwd, geldt ook hier de taakstellende top-eis gelijk aan 0,01 x norm per jaar. Voor demontabele keringen zal dit doorgaans geen probleem zijn. De constructies zijn goed te ontwerpen en er zijn weinig onzekerheden. Faalmechanismen van afzonderlijke onderdelen zijn sterk aan elkaar gerelateerd zodat voor ieder afzonderlijk onderdeel direct de norm-eis geldt.

Voor tijdelijke keringen geldt echter dat deze los op de ondergrond staan waardoor de kans op falen groter is, eens te meer omdat ook gedurende de periode van hoogwater de ontwerpomstandigheden kunnen veranderen. De hiermee gepaard gaande onzekerheid is gemakkelijk op te vangen in een vaste constructie, maar een stuk moeilijker bij de tijdelijke constructies (zie ook hierna).

### 3.6 DE INZET VAN TIJDELIJKE KERINGEN ALS PRIMAIRE OF SECUNDAIRE WATERKERING

Tijdens het ontwikkelen van het keuzemodel is gekeken naar de mogelijkheden om ook tijdelijke keringen in te zetten bij primaire waterkeringen. Een belangrijk verschil tussen tijdelijke en demontabele keringen is dat in de gebruiksfase (dus na de bouw van de kering) de ontwerpcriteria beïnvloedt kunnen worden waardoor de stabiliteit en dus betrouwbaarheid in deze fase moeilijk te garanderen is. De risico's bij het inzetten zijn dus niet beperkt tot alleen de bouwfase, maar doen zich ook voor in de gebruiksfase. Deze aan tijdelijke keringen inherente risico's tijdens de gebruiksfase zijn niet goed te mitigeren met een herstelpoging, mede vanwege het sterk progressieve faalgedrag. Bovendien geldt een veel zwaardere betrouwbaarheidseis dan tijdens de sluitingsprocedure, namelijk 0,01 x norm in plaats van 0,1 x norm tijdens de sluiting.

Dit is een groot verschil met demontabele keringen waarbij de risico's met name in het proces voorafgaand aan de gebruiksfase tot uitdrukking komen en waarmee op het moment dat de sluiting succesvol is verlopen, het risico op falen min of meer vergelijkbaar is geworden aan de veiligheid van een vaste kering met vergelijkbare herstelpogingen.

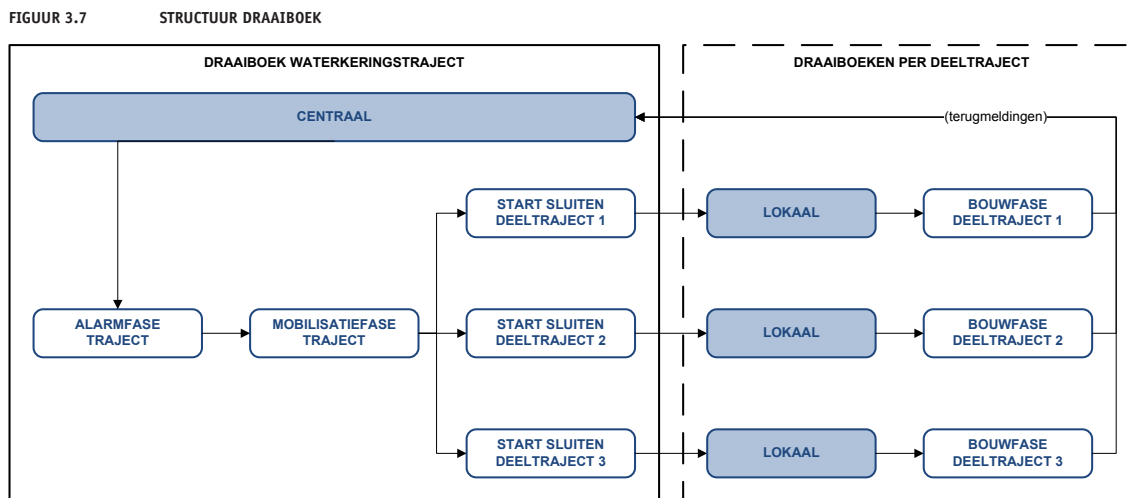
Vanwege dit grote verschil is er in het keuzemodel voor gekozen om de aanbeveling die het model doet, te beperken tot alleen demontabele keringen voor primaire keringen. Tijdelijke keringen kunnen echter wel goed ingezet worden als noodmaatregel bij demontabele keringen of in situaties waarin de veiligheidsnorm lager is, bijvoorbeeld bij secundaire keringen.

### 3.7 DE ROL VAN HET DRAAIBOEK

De rol van het draaiboek is naast het voor de handliggende verstrekken van informatie voor de sluitingsprocedure vanaf het moment van overschrijden van het waarschuwingspeil tot en met het weer afbreken van de kering, ook het aantoonbaar maken van de veiligheid. Dat wil zeggen dat het mogelijk moet zijn om in het geval een (vijfjaarlijkse) toetsing van de mobiele kering plaatsheeft, na te volgen maar ook te zien of herstelmaatregelen per fase ook daadwerkelijk een integraal onderdeel vormen van de procedure. Het draaiboek op zich vergroot de veiligheid direct.

Omwille van de navolgbaarheid en eenduidigheid wordt verder aanbevolen om, in het geval dat het waterkeringstracé uit meerdere deeltrajecten bestaat met mobiele keringen, per deeltraject een draaiboek op te stellen. Met één overkoepelend draaiboek kunnen in dat geval de

afzonderlijke deeltrajecten gestart worden zonder dat verwarring kan ontstaan over de procedures en uit te voeren werkzaamheden bij het geval van optreden van hoogwater of in het geval van een toetsing van de waterkering. Een en ander is ter verduidelijking weergegeven in de onderstaande figuur.



Indien voor het sluiten van de tijdelijke of demontabele kering gebruik gemaakt wordt van de inzet van derden, dient stil te worden gestaan bij het afsluiten van beschikbaarheidscontracten.

In deze contracten, ook wel waakvlamcontracten of -overeenkomsten genoemd, worden afspraken vastgelegd met betrekking tot de inzet van mens en materieel van derden. Door de grote hoeveelheid bouwactiviteiten in Nederland en de noodzaak van gelijktijdige opbouw van mobiele keringen bij andere waterkeringbeheerders, is de beschikbaarheid van materieel en personeel in de mobilisatie- en sluitingsfase geen vanzelfsprekendheid.

Door het aangaan van een beschikbaarheidscontract lijkt te kunnen worden gegarandeerd dat het benodigde materieel en personeel wel op het juiste moment beschikbaar is. Echter, bij het uitbesteden van de verantwoordelijkheid zal deze partij moeten voldoen aan de norm die anders voor de interne organisatie zou gelden. Aan de ene kant wordt de verantwoordelijkheid dus verplaatst en zal de externe organisatie zich geconfronteerd zien met dezelfde uitdagingen die anders bij de interne organisatie zou liggen. Tegelijkertijd neemt het zicht op de betrouwbaarheid af en wordt een extra schakel (namelijk het waarschuwen van een externe partij) geïntroduceerd. Dit is dus niet per sé een gunstig voor de veiligheid. Dit geldt zowel voor ontwerp, beheer als toetsing.

In de waakvlamcontracten wordt vastgelegd op welke locatie(s) hoeveel materieel en personeel op afroep beschikbaar moet zijn. Er moet worden nagedacht over de periode waarvoor het contract geldt en de maximale responstijd na afroep van de mensen en middelen. Ook moeten hierin de consequenties worden vastgelegd van niet tijdige of volledige naleving van het contract.

Tegenover de gegarandeerde beschikbaarheid van mensen en middelen om de kering op te bouwen staan de kosten van deze reservering. De beheerder moet een afweging maken tussen de kosten van het contract enerzijds en de gevolgen en kosten van een niet tijdig gesloten kering anderzijds.

# 4

## ONTWERP EN KEUZEASPECTEN

### 4.1 ALGEMEEN

Voor iedere fase worden hier in het algemeen de belangrijkste ontwerp- en keuzeaspecten gegeven waar de beheerder rekening mee moet houden in het ontwerp als hij de maximale haalbare veiligheid met een bepaald systeem wil halen moet houden in het ontwerp. De verhoogde staat van paraatheid die in werking treedt nadat het waarschuwingspeil ( $P_w$ ) is overschreden, wordt hier zeer beperkt behandeld omdat het niet direct van invloed is op de keuze van een systeem (zie paragraaf 3.2), anders dan via de tijd die nodig is om de verhoogde staat van paraatheid te berekenen als onderdeel van  $T_{\text{totaal}}$ . De mobilisatiefase wordt evenals de sluitfase wel direct beïnvloed door de keuze van een systeem en wordt dan ook uitvoerig behandeld. Voor de gebruiksfase worden in dit hoofdstuk zowel de voor mobiele keringen specifieke constructieve aandachtspunten beschreven en worden relevante normbladen genoemd.

Het succes van inzetten van een mobiele kering is zoals in het voorgaande hoofdstuk al aangegeven in belangrijke mate bepaald door de beschikbare tijd tussen de eerste waarschuwing en het overschrijden van het OKP. Dit betekent ook dat voor iedere tussenliggende fase de beschikbare tijd bepaald moet worden en er tussenliggende peilen gedefinieerd moeten worden waarbij bijvoorbeeld de mobilisatie start ( $P_{\text{mob}}$ ) of de feitelijke bouw van de kering ( $P_{\text{ss}}$ ). Hierbij wordt opgemerkt dat de stijgsnelheid van de waterstanden per fase kan variëren en dat deze dus niet noodzakelijkerwijze gelijk is aan gemiddelde de stijgsnelheid van het waarschuwingspeil tot het OKP. De keuze van de momenten waarop aangevangen moet worden is opnieuw een vrije keuze, te maken door de beheerder (zie hoofdstuk 3).

Naast de algemene ontwerp- en keuzeaspecten in dit hoofdstuk worden bij de generieke systeembeschrijvingen in bijlage A de meer specifieke risicoaandachtspunten en risicobepalende maatregelen beschreven.

Achtereenvolgens worden de volgende fasen behandeld:

- Alarm (fase 1);
- Mobilisatie (fase 2);
- Sluiten (fase 3);
- Gebruik (fase 4).

Voorafgaand aan iedere fase worden steeds de elementen waarmee volgens de gedetailleerde toetsing van de Leidraad Kunstwerken de maximale betrouwbaarheid kan worden gehaald worden opgesomd.

Voor aanbevelingen omtrent een gedetailleerde beoordeling van de betrouwbaarheid wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken, bijlage 3, gedetailleerde toetsing. Bij een gedetail-

leerde toetsing of ontwerp speelt ook het aantal keren dat een activiteit moet worden uitgeoefend (het aantal vragen per jaar) een rol. Immers, aangetoond moet worden dat (zie paragraaf 3.2):

$$P_{ns} \cdot n_j < 0,1 \times \text{norm (sluitfase)}$$

$$P_{ns} \cdot n_j < 0,01 \times \text{norm (gebruiksfase)}$$

waarin:

$P_{ns}$ , de kans op onbedoeld niet sluiten gegeven de noodzaak [faalkans per vraag]

$n_j$ , het aantal keren dat de mobiele kering gesloten moet worden [vragen per jaar]

Het is dus belangrijk dat de beheerder, naast de economische afweging, ook de meer subjectieve afweging maakt of hij zich in staat acht om een bepaald type (generieke) mobiele kering met voldoende zekerheid te kunnen sluiten als hij dat vaak moet doen. Het spreekt voor zich dat de eenvoudigere en bewezen mobiele keringen hierbij de voorkeur hebben boven de meer ingewikkelde typen mobiele keringen.

In dit hoofdstuk is verder onder meer gebruik gemaakt van [2] en [3] uit respectievelijk Duitsland en het Verenigd Koninkrijk en de Leidraad Kunstwerken [1].

#### 4.2 VERHOOGDE STAAT VAN PARAATHEID ( $T_p$ )

Het succesvol doorlopen van deze fase is zeer beperkt afhankelijk van een gekozen type mobiele waterkering. De te doorlopen procedure (feitelijk het op de hoogte brengen van de mensen die betrokken zijn bij het mobiliseren, opbouwen en bewaken van de mobiele kering) is doorgaans goed af te stemmen op de beschikbare tijd.

De procedure wordt weliswaar complexer of uitgebreider op het moment dat er (veel) meer mensen nodig zijn in het geval van een meer arbeidsintensief type mobiele kering. Desondanks heeft dit geen grote gevolgen en is dit met eenvoudige middelen te bewerkstelligen, zonder dat er grote investeringen nodig zijn voor het inbouwen van voldoende betrouwbaarheid. Het belangrijkste faalmechanisme is in deze fase het niet kunnen bereiken van de nodige personen. Met de inzet van moderne en verschillende communicatiemiddelen naast bijvoorbeeld het vaste telefoonnetwerk, is er betrekkelijk eenvoudig een hoge mate aan betrouwbaarheid te realiseren. Bereikbaarheid van de juiste functionarissen moet voor iedereen die aan het proces deelneemt gemakkelijk zijn.

Daarnaast zijn de belangrijkste risicobeperkende maatregelen het herbevestigen van de verhoogde staat van paraatheid en het waarschuwen van meerdere functionarissen om te voorkomen dat mensen door (onverwachte) gebeurtenissen niet bereikbaar zijn. Voor details wordt verwezen naar de Leidraad Kunstwerken [1]. De belangrijkste onderdelen voor het behalen van de maximale betrouwbaarheid in deze fase zijn volgens de Leidraad Kunstwerken:

- 1 Het hebben van een automatische niveaumeting met minimaal een controle per maand (dit is het zgn. MSW net).
- 2 Het minstens eenmaal per dag registreren/voorspellen van de waterstanden bij rivieren of tweemaal per dag bij kusten.
- 3 Het hebben van een back-up of controlesysteem.

Deze onderdelen liggen doorgaans bij Rijkswaterstaat (RIZA) of SVSD en vallen buiten de invloedssfeer van de beheerder van de kering. Dat wil zeggen dat de beheerder wordt gewaarschuwd na een melding van RIZA of SVSD waarna de beheerder zelf de waterstandsontwikkeling zal volgen, bijvoorbeeld via het MSW net (zie ook paragraaf 3.3). Onderdelen die wel binnen de invloedssfeer van de beheerder vallen en waarmee de betrouwbaarheid van deze fase vergroot kunnen worden zijn:

- 1 Een geautomatiseerd waarschuwingssysteem in plaats van het waarschuwen via menselijk handelen.
- 2 Het hebben van een schriftelijke procedure voor het meten en waarschuwen.
- 3 Minstens eenmaal per jaar oefenen in de procedure.
- 4 Terugmeldingsprocedure van de gewaarschuwde personen.

Als er bovendien een tweede systeem is voor deze procedure als terugvaloptie dan draagt dat bij aan de betrouwbaarheid.

Eenduidige vastlegging van deze procedure in een voor iedereen beschikbaar en overzichtelijk protocol draagt in hoge mate bij aan de betrouwbaarheid.

#### 4.3 MOBILISATIE ( $T_M$ )

De logistieke inspanning wordt direct beïnvloed door de keuze van een systeem, met name in het geval dat er niet lokaal wordt opgeslagen maar op enige afstand. Het succes van mobilisatie in het algemeen is afhankelijk van aspecten zoals de locatie van opslag zelf, de bereikbaarheid van de locatie van opslag en de plaats waar de kering moet worden opgebouwd. Voor systeemspecifieke aspecten wordt verwezen naar bijlage A.

Opgemerkt zij dat gedurende de mobilisatie, omstandigheden zoals de toegankelijkheid kunnen veranderen doordat bijvoorbeeld het waterpeil stijgt waardoor delen van het gebied slechter bereikbaar kunnen zijn of er bijvoorbeeld meer mensen naar het opzetten van de kering komen kijken en daarbij mogelijk in de weg lopen. Bovendien moet er rekening mee gehouden worden dat het buitenwater langs de kust en op de benedenrivieren mogelijk sneller kan stijgen dan langs de bovenrivieren en kan golfslag er voor zorgen dat de locatie moeilijker bereikbaar is ook al is de waterstand wellicht nog lager dan het OKP.

Volgens de Leidraad Kunstwerken is de maximale score te behalen indien:

- 1 er een volledige bemanning aanwezig is;
- 2 de procedure schriftelijk is vastgelegd;
- 3 er een voorwaarschuwingssysteem is;
- 4 er een terugmeldingssysteem is;
- 5 de procedure voor mobilisatie minstens één keer per jaar geoefend wordt;
- 6 er een stand-by regeling is;
- 7 er een voorwaarschuwing is voor de stand-by;
- 8 het kunstwerk onder alle omstandigheden aanwezig is.

Het al dan niet aanwezig zijn van de volledige bemanning na de waarschuwing (1) en de bereikbaarheid van de locatie waar de mobiele kering moet worden opgebouwd (8) zullen de meeste kosten met zich meebrengen. De bereikbaarheid geldt voor de locatie van opbouwen, de opslaglocatie alsmede de route tussen beiden. Aspecten waar verder rekening mee gehouden moet worden in de mobilisatiefase worden hierna weergegeven.



#### 4.3.1 LOCATIEGEBONDEN ASPECTEN

De volgende aspecten spelen een rol bij (het ontwerpen of aanwijzen) van een opslagfaciliteit op enige afstand van de plaats waar de mobiele kering moet worden opgebouwd:

##### OPSLAGLOCATIE

- bereikbaarheid locatie;
- afmetingen opslaglocatie (ruimte voor materiaalopslag, eventuele kraan / heftrucks, manoeuvreerruimte voor vrachtwagens en dergelijke);
- manoeuvreer- en/of opstelruimte buiten;
- (reserve)materieel voor het laden en lossen en transport;
- voorzieningen voor schoonmaken materieel (olieafscidders, werkplaats).

##### TRANSPORT

- lengte af te leggen route vanaf opslagplaats naar plaats van opbouw;
- toestand van de wegen van opslagplaats naar opbouwlocatie (soort verharding, maximale);
- doorrijhoogte, laadvermogen en dergelijke), onder alle weersomstandigheden (regenval, vorst, sneeuw, overstroming);
- aantal benodigde transportvoertuigen;
- bereikbaarheid en toegankelijkheid van de toegangswegen (noodzaak voor afzettingen, onderlopen van straten, verwachte verkeersdrukte);
- mogelijkheid van ontsluiting langs meerdere wegen.

##### OPBOUWLOCATIE

- bereikbaarheid opbouwlocatie (afzettingen, ondergelopen straten);
- beschikbare ruimte voor laden- en lossen;
- ruimte voor tijdelijke opslag van materiaal;
- beschikbare ruimte voor manoeuvreren van voertuigen;
- afzetvoorzieningen voor ramptoeristen;
- verkeershinder;
- mogelijkheden om op meerdere plaatsen langs het tracé van de waterkering tijdelijk materiaal op te slaan.

#### 4.3.2 TIJDSASPECTEN

Bij het bepalen of de noodzakelijke logistieke handelingen verricht kunnen worden binnen de voor deze fase beschikbare tijd, dient er voldoende aandacht gegeven te worden aan de volgende tijdsaspecten:

- tijd benodigd voor mobiliseren personeel;
- tijd voor laden van de mobiele kering;
- tijd voor afleggen transportroute;
- tijd voor lossen;
- tijd voor het eventueel transport tussen lokale opslagplaatsen.

#### 4.3.3 PERSONEEL

Personele aspecten waar rekening mee gehouden moet worden zijn het aantal benodigde:

- opzichters/projectleiders logistiek;
- mensen voor laden/lossen;
- mensen voor het besturen van heftrucks, vrachtwagens.
-

- Daarnaast is van belang:
- de bereikbaarheid van functionarissen;
- de communicatie onderling;
- het vereiste opleidingsniveau.

Voor afzonderlijke groepen kan onderscheid gemaakt worden naar meer of minder gekwalificeerd personeel (opleidingsniveau, trainingsniveau t.a.v. opbouwen kering, (groot)rijbewijzen etc). Verder moet het personeel goed inzicht hebben in alle aspecten van het draaiboek en moeten zij weten waar en op welke wijze ze welke functionarissen kunnen bereiken.

#### 4.3.4 OPERATIONEEL

Bij het inrichten van de opslaglocatie, bouwlocatie en het bepalen van de nodige transport, laad- en losmiddelen moet rekening gehouden worden met:

##### **MATERIAALEIGENSCHAPPEN:**

- gewicht in relatie tot machinaal of handmatig plaatsen;
- gevoeligheid voor corrosie en veroudering van materialen;
- weersbestendigheid.

##### **AFMETINGEN VAN (PAKKETTEN VAN) ONDERDELEN VAN DE MOBIELE KERING:**

- lengte;
- breedte;
- hoogte.

##### **MATERIEEL:**

- afmetingen;
- draaicirkels;
- gewicht;
- noodzaak voor kranen of heftrucks;
- aandrijfsystemen;
- elektriciteitsvoorzieningen;
- watervoorzieningen;
- overige voorzieningen.

#### 4.4 SLUITINGSPROCEDURE (T<sub>5</sub>)

De Leidraad Kunstwerken geeft voor de sluitingsprocedure de volgende elementen om de betrouwbaarheid te maximaliseren:

- 1 Minstens twee maal per jaar controleren en tenminste éénmaal per jaar testen van de mobiele kering;
- 2 Beperken van het aanvarings- of aanrijdingsrisico;
- 3 Indien er een aandrijvingssysteem is: een tweede aandrijfmiddel (noodaggregraat) beschikbaar hebben;
- 4 Het beschikbaar hebben van een volledig onafhankelijk reserve-aandrijvingssysteem;
- 5 Beperken van het voorkomen van meer dan normale belemmeringen;
- 6 Inbouwen van de mogelijkheid van ingrijpen bij een fysieke belemmering;
- 7 Beschikbaar hebben van een tweede keermiddel.

In het hiernavolgende wordt meer ingegaan op de aandachtspunten voor het succesvol doorlopen van de sluitingsprocedure.

#### 4.4.1 BESCHIKBARE RUIMTE VOOR OPBOUW

Op de plaats van opbouw moet voldoende ruimte beschikbaar zijn om de kering te kunnen bouwen en het materiaal naar de juiste plaats te kunnen brengen. Afhankelijk van het gekozen systeem is hier geen, groot of klein materieel bij nodig. In het algemeen moet rekening gehouden worden met:

- afzettingen om nieuwsgierigen op afstand te houden;
- ruimte voor manoeuvreren vanaf de losplaats (zie ook 3.1.1);
- ruimte voor tussentijdse opslag en lokaal transport;
- ruimte voor koppelen van onderdelen;
- ruimte en middelen voor het schoonmaken en prepareren van de plaats waar de kering wordt opgezet;
- ruimte voor het opzetten van de kering.

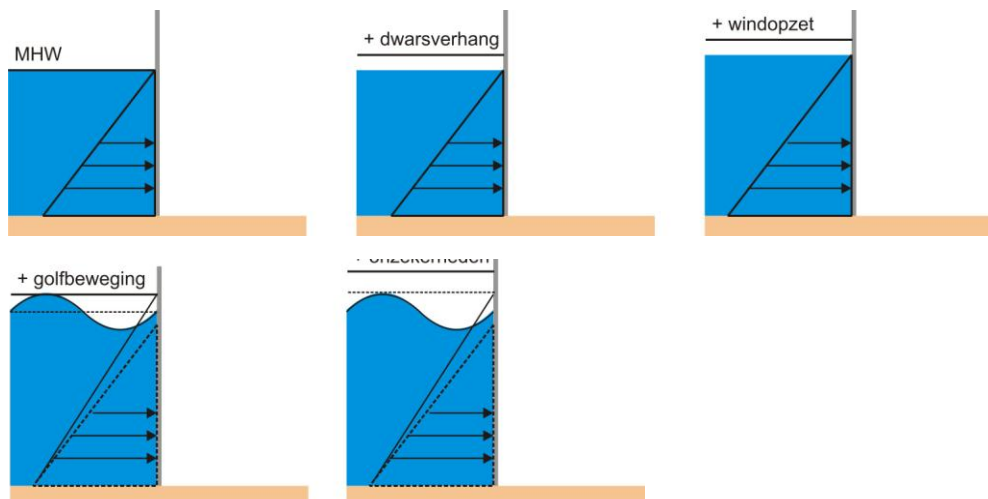
#### 4.5 GEBRUIKSFASE (TB)

In deze paragraaf wordt een globaal overzicht gegeven van relevante belastingen waar bij het constructief ontwerpen rekening gehouden moet worden. Voor het constructief ontwerp dient onder meer rekening gehouden te worden met falen door afschuiven, kantelen of overstromen van de constructie. Voor details wordt verwezen naar de Leidraad Rivieren [4].

#### 4.5.1 HYDROSTATISCHE WATERDRUK

Hydrostatische waterdruk moet in alle gevallen worden meegerekend als belasting. In het geval dat sprake is van een locatie langs de rivieren moet aanvullend rekening gehouden worden met het een eventueel dwarsverhang in de rivier. Het dwarsverhang is te bepalen met rekenmodellen zoals WAQUA (Rijkswaterstaat).

FIGUUR 4.1 BELASTINGEN OP DE (MOBIELE) WATERKERING EN HOOGTEBEPALING (MOBIELE) WATERKERING



De MHW standen en tussenliggende waterstanden met een herhalingstijd van OLR tot MHW/Toetspeil zijn te achterhalen via de website [www.waternormalen.nl](http://www.waternormalen.nl). De MHW standen zijn echter exclusief dwarsverhang, golven, onzekerheden etc. Voor het ontwerp van een (mobiele) kering moet worden uitgegaan van de waterstand die bij MHW optreedt, met compensatie voor dwarsverhang, golfhoogte etc.

#### 4.5.2 STROMINGSDRUK

Wanneer de kering niet parallel aan de stroomrichting wordt geplaatst moet ook rekening gehouden worden met stromingsdruk. De stromingsdruk is afhankelijk van de hoek van aanstromen en de stroomsnelheid. Een goede indicatie van de lokale stroomsnelheid en stroomrichting ter plaatse van het mobiele waterkeringstracé kan verkregen worden uit (twee-dimensionale) rekenmodellen zoals WAQUA (Rijkswaterstaat).

Indien de waterkering zich langs een vaarweg bevindt en deze bovendien nauw is in doorstroomoppervlak, kan het noodzakelijk zijn om ook scheepsgeïnduceerde waterbeweging (retourstroom, volgstroom) te beschouwen. Met name bij kanalen kan deze stroomsnelheid hoger zijn dan in het geval van een kanaal zonder scheepvaart. Doorgaans zal dit echter niet noodzakelijk zijn. Deze stromingsbelastingen zijn te berekenen met het computerprogramma DIPRO+ van Rijkswaterstaat (zie ook [www.cress.nl](http://www.cress.nl)).

#### 4.5.3 GOLFBELASTING

Naast hydrostatische en stromingsdruk moet in het ontwerp rekening gehouden worden met golfbelasting. Onderscheid wordt gemaakt tussen windgolven en scheepsgeïnduceerde golven. Windgolven zijn onder andere te berekenen met behulp van de methode Brettschneider (Leidraad Rivieren [4]). Scheepsgeïnduceerde golven zijn te berekenen met het computerprogramma DIPRO+ van Rijkswaterstaat (zie ook [www.cress.nl](http://www.cress.nl) en Technisch Rapport Steenzettingen [5]).

#### 4.5.4 STOOTBELASTINGEN

Typische belastingen waar extra rekening mee gehouden moet worden bij het toepassen van een mobiele kering zijn stootbelastingen. Stootbelastingen kunnen afkomstig zijn van de waterzijde door drijfvuil, ijs en schepen. Aan de landzijde moet rekening gehouden worden met stootbelastingen door verkeer (al dan niet betrokken bij het opzetten / bewaken van de mobiele kering).

Aan de waterzijde is de stootbelasting mede afhankelijk van de stroomsnelheid die te bepalen is door middel van een tweedimensionaal rekenmodel zoals WAQUA. Daarnaast speelt de massa van het drijvende object een rol. Voor het berekenen van de stootbelasting wordt verwezen naar [4].

#### 4.5.5 WINDDRUK

Winddruk speelt een rol, vooral wanneer deze van de landzijde richting het te keren water waait. Hierdoor kan vooral in onbeschutte gebieden een extra trekkracht ontstaan in steunen achter een kering die wanneer ze alleen op druk belast worden niet aan de ondergrond behoeven te worden verankerd.

#### 4.5.6 OVERIGE BELASTINGEN

Anders dan bij vaste keringen het geval is moet ook rekening gehouden worden met door mensen uitgeoefende belastingen, zeker wanneer de kering in dichtbevolkt gebied wordt neergezet en deze langere tijd in werking is. Te denken valt hierbij aan het aan de kering gaan hangen of er op klimmen, al dan niet uit vandalisme. In Duitsland wordt hier een belasting van  $5 \text{ kN/m}^1$  voor aangehouden [2].

#### 4.5.7 BIJZONDERE BELASTINGEN

##### WATERDRUK AAN DE LANDZIJDE

Door bijvoorbeeld golfoverslag of kwel kan de situatie zich voordoen dat ook aan de landzijde een laag water komt te staan. Deze extra laag water, zo deze niet wordt weggepompt of in een drainagesysteem wordt geleid, zorgt voor in het gunstigste geval voor een reductie van de belasting op de kering vanaf de te keren waterzijde. Voor demontabele keringen zal dit doorgaans geen probleem zijn. Voor tijdelijke keringen kan hierdoor de stabiliteit verslechteren omdat dit gewichtsconstructies zijn waarbij de waterdruk uiteindelijk de neerwaartse druk kan verminderen en dus de kans op afschuiven in de richting van de lagere waterstand kan optreden als gevolg van verlies van bodemwrijving.

##### AARDBEVINGEN

Normaliter wordt geen rekening gehouden met aardbevingen als een bijzondere belasting omdat de gecombineerde kans van optreden (én aardbeving én hoogwater) extreem klein is. Het verdient de aanbeveling dit per geval te bekijken.

##### FALEN STEUN

Met name steunvoorzieningen achter mobiele keringen zijn gevoelig voor beschadiging door bijvoorbeeld verkeer, al dan niet door aanrijding, onjuiste montage of falen van het constructie-element zelf.

##### OVERSTROMEN

Mobiele waterkeringen zijn kwetsbaar voor overstroming: overstroming kan een grote trekkracht in de richting van de droge zijde veroorzaken door pulserende of continue overslag van water waardoor de constructie wordt overbelast. Dit is vooral het geval omdat mobiele keringen zijn samengesteld uit een (groot) aantal onderdelen die onderling met elkaar verbonden zijn. Daardoor zijn ze gevoelig voor dynamische belastingen. Veilig inzetten van mobiele keringen betekent dus in praktische zin dat de kans op overstromen per definitie moet worden uitgesloten.

#### 4.5.8 GEOTECHNISCHE ASPECTEN

##### KWEL EN EROSIE

Alhoewel kwel bij alle typen mobiele keringen kan optreden, zal het met name bij tijdelijke keringen gevolgen kunnen hebben voor de stabiliteit. Immers, de stabiliteit van de ondergrond beïnvloedt de weerstand van tijdelijke keringen tegen afschuiven. Kwel en oppervlakkig lekwater (water dat tussen de tijdelijke kering en het oppervlak waar die opgeplaatst wordt) kan erosie of instabiliteit van de ondergrond veroorzaken.

Bij demontabele keringen speelt dit in mindere mate een rol omdat de ondergrond doorgaans een betere afsluiting van het oppervlak waar de kering op geplaatst wordt toestaat en er een permanente kwelvoorziening onder de fundering zal zijn aangebracht.

## 4.6 TYPISCHE RISICO'S EN AANDACHTSPUNTEN VOOR MOBIELE KERINGEN

### 4.6.1 RISICO'S

TABEL 4.1 OVERZICHT BELANGRIJKSTE ALGEMENE AANDACHTSPUNTEN VOOR MOBIELE KERINGEN [2]

	drijvende objecten	scheepsaanvaring	aanrijding landzijde	ongelijkmatigheden in ondergrond	overstromen	opdrijven	onderdelen	korrosie/veroudering	technisch falen	vandalisme	diefstal	opslag	opbouw/afbouw	transport
D1: schotbalksystemen	X	X	X		X		X	X		X	X	X	X	X
D2a: klepsystemen korte lengte	X		X						X			X	X	X
D2b: klepsystemen grote lengte	X	X	X		X			X		X		X	X	X
T1: vulcontainers		X		X										
T2: water- of luchtgevulde systemen	X	X		X		X				X				
T3: vrijstaande keermiddelen	X	X		X		X	X			X		X		

### 4.6.2 ALGEMENE MAATREGELEN TER VERMINDERING RISICO'S

Onderscheid is te maken naar strategische maatregelen zoals compartimenteren en het structureel beperken van de risico's die direct te maken hebben met mobiele keringen. Strategische maatregelen worden hier alleen volledigheidshalve genoemd en niet uitvoerig behandeld. Risicobeperkende maatregelen die direct gerelateerd zijn aan bepaalde typen generieke systemen worden gegeven in bijlage A.

### 4.6.3 STRATEGISCH / BELEIDSMATIG

#### COMPARTIMENTEREN VAN HET TE BESCHERMEN GEBIED

Door het gebied in meerdere beschermingszones op te delen is het mogelijk het schadepotentieel en de risico's te beperken. Mobiele keringen kunnen ook bij het compartimenteren een rol spelen, als structurele maatregel of als noodmaatregel (tweedelijns verdediging).

#### OPDELEN VAN HET MOBIELE KERINGSTRACÉ IN MEERDERE (KLEINERE) STUKKEN

Dit heeft als groot voordeel dat het falen van de mobiele kering omdat deze bijvoorbeeld maar in één richting kan worden opgezet afneemt en omdat er meerdere ploegen tegelijkertijd aan de sluiting van de kering kunnen werken waardoor minder tijd nodig is. Dit kan door het toevoegen van extra steunpunten of introduceren van gedeelten met vaste keringen. Dit principe kan zowel in horizontale als verticale richting worden toegepast.

### 4.6.4 STRUCTUREEL

#### BEPERKEN VAN DE STEUNBREEDTE

Beperken van de steunbreedte achter een mobiele kering maakt deze minder kwetsbaar voor falen. In het geval van grotere steunbreedtes dient met beschermende maatregelen gewerkt te worden.

**BEPERKEN TURBULENTIE EN STROOMSNELHEIDSVARIATIES**

Bij hoog turbulente stroming rond vernauwingen, bruggen, pijlers en dergelijke kan drijfvuil, afgezien van de hogere stroomsnelheden, onder water de mobiele kering beschadigen. Het beperken van de turbulentie draagt dus bij tot het beperken van het vóórkomen van deze belasting.

**STOOTBELASTINGEN**

Mitigerende maatregelen zijn het zorgen voor bijvoorbeeld beschermingsconstructies voor de mobiele kering die drijfvuil en schepen op afstand houden. Ook kan het reduceren van de scheepvaartintensiteit op de vaarweg bijdragen aan een hogere veiligheid. Doorgaans zal echter het scheepvaartverkeer gestremd worden bij een zekere waterstand onder MHW.

Aan de landzijde is dit risico te beperken door voor voldoende werkruimte te zorgen of door niveauverschillen aan te brengen zodat verkeer niet in de buurt van de mobiele kering kan komen.

**SPECIFIEKE MAATREGELEN PER SYSTEEM**

Zie bijlage A.

# 5

## KOSTEN

### 5.1 ALGEMEEN

De kosten in de afweging tussen verschillende systemen die veilig en betrouwbaar in te zetten zijn voor een specifiek geval, zijn onder te verdelen naar:

- eenmalige kosten (aanschaf systeem, inrichten opslagplaats, aanschaf materieel etc);
- jaarlijkse vaste kosten (onderhoud, oefeningen);
- jaarlijkse variabele kosten (kosten voor het aantal keren dat de kering ingezet wordt).

### 5.2 KOSTEN(OPTIMALISATIE) IN HET KEUZEMODEL

In het keuzemodel wordt aanbevolen om voor iedere geschikt bevonden systeem dat comfortabel binnen de beschikbare tijd kan worden opgebouwd, de Netto Contante Waarde (NCW) te bepalen. Simpel gezegd is de NCW is de hoeveelheid geld die in jaar 0 op de bank gezet zou moeten worden om gedurende de afschrijvingstijd van de mobiele kering, alle kosten (dus éénmalige investeringskosten (IK) én de jaarlijkse kosten (JK) te kunnen betalen. Er zijn immers geen baten uit het opzetten van een mobiele kering (behalve het voorkomen van overstromingsschade, maar bij dezelfde norm is die bij benadering voor elk alternatief gelijk). Binnen jaarlijkse kosten wordt nog onderscheid gemaakt tussen de jaarlijkse vaste kosten zoals het oefenen en onderhouden / bedrijfsklaar maken van alle onderdelen van de mobiele kering en de jaarlijkse variabele kosten. De jaarlijkse variabele kosten bestaan uit de kosten voor het inzetten van de mobiele kering vanwege het optreden van een hoogwater. De NCW is te bepalen volgens onderstaande vereenvoudigde formule, waarbij voor de discontovoet (DK) moet in 2008 een percentage van 4 procent aangehouden worden:

$$NCW(j) = IK + \sum_{t=0}^{T_j} JK \cdot (1 + DV)^{-j \cdot t}$$

Ook hierbij is duidelijk dat de keuze van het waarschuwingspeil, het peil waarbij de sluiting moet starten en de tussenliggende peilen, van grote invloed zijn op het maken van een veilige en economische afweging tussen verschillende systemen. Immers, als de jaarlijkse variabele kosten vanwege het frequent moeten mobiliseren - al dan niet gevolgd door het ook daadwerkelijk opbouwen van de kering - groot zijn, kan het geval zijn dat ondanks lage investeringskosten IK een bepaald generiek systeem toch nog veel duurder is dan een duurder systeem waarbij de jaarlijkse kosten veel lager zijn. Het loont dan ook zeker de moeite om hier uitgebreid naar te kijken en te bezien in hoeverre het door de keuze van de verschillende peilen waarbij de respectievelijke fasen aanbreken kunnen leiden tot een optimale keuze, zowel vanuit het oogpunt van veiligheid als vanuit economisch oogpunt.

Naast het feit dat de keuze van de verschillende peilen een rol speelt bij de economische optimalisatie, speelt (vanzelfsprekend) de locatiekeuze voor de opslag een grote rol. Immers, indien fase 2 (mobilisatie) drastisch beperkt kan worden en er zelfs lokaal kan worden opgeslagen wordt materieel en huisvesting voor opslag uitgespaard. Buiten dat dit economischer



is, heeft dit ook grote gevolgen voor de veiligheid: de risico's die gepaard gaan met de mobilisatiefase worden immers verregaand beperkt. Aldus is de 'veiligheid' in feite uit te drukken in kosten (zie ook hoofdstuk 1.1 en 3).

Beperken van de hoeveelheid in te zetten personeel heeft logischerwijze eveneens grote impact op de economie van mobiele keringen. De hoeveelheid in te zetten personeel kan zowel worden beperkt door het aanpassen van het peil waarbij de bouw van de kering start en waardoor er een meer- of minder hoge waterkering moet worden opgezet, als door het automatiseren van het bouwproces (bijvoorbeeld een geautomatiseerde klepkering in plaats van een schotbalkkering).

De economie van de mobiele kering en de veiligheid waarmee deze kan worden ingezet hangen dus nauw met elkaar samen, hetgeen nog eens benadrukt dat het belangrijk is om goed inzicht te hebben in niet alleen de hoeveelheid tijd die beschikbaar is tussen het waarschuwingspeil en het OKP, maar ook het aantal keren dat de verschillende peilen daartussen bereikt worden omdat deze voor ieder generiek systeem onmiddellijk tot het maken van kosten zullen gaan leiden (namelijk de jaarlijkse variabele kosten), of het nu daadwerkelijk nodig is om de kering op te bouwen of niet (zie paragraaf 3.2).

### 5.3 INVESTERINGSKOSTEN

Onder eenmalige kosten worden verstaan het aanschaffen van de mobiele kering van een generiek type, inclusief al het materiaal/materieel dat extra noodzakelijk is om ter beperking van gebruiksrisico's (zie hoofdstuk 3 en bijlage A). Onderstaande figuur geeft de kosten weer van de aanschaf van alleen het generieke systeem, inclusief een overlengte om er voor te zorgen dat er voldoende reserveonderdelen beschikbaar zijn.

### 5.4 JAARLIJKSE VASTE KOSTEN

Onder jaarlijkse vaste kosten worden verstaan de kosten voor het onderhouden van het systeem, de kosten van opslag, het oefenen voorafgaand aan het hoogwaterseizoen waarbij alle fasen doorlopen moeten worden en de eventuele lasten van opslagplaatsen en dergelijke. Voor onderhoud aan de verschillende systemen kan een vast of variërend percentage gebruikt worden. Bij gebrek aan gegevens wordt hier een vast percentage van 5 procent van de aanschafprijs aangehouden.

### 5.5 JAARLIJKSE VARIABELE KOSTEN

Jaarlijkse kosten bestaan uit het opzetten van de mobiele kering vanwege het overschrijden van het waarschuwingspeil en daaropvolgende peilen tot en met het eventueel sluiten van de kering. Zowel om redenen van kosten als om de veiligheid van de mobiele kering aan te tonen is het nodig om hier een goede statistisch onderbouwde overschrijdingskans per fasepeil te hebben zodat op voorhand goed inzicht gekregen kan worden in de verwachte jaarlijkse kosten en te behalen veiligheid. Om inzicht in het verwachte aantal keren dat de opeenvolgende fasen optreden kan gebruik gemaakt worden van het computerprogramma in bijlage E.

## 5.6 EFFECTIVITEITSRATIO

De effectiviteitsratio geeft een indicatie van de efficiency van inzet door het aantal keren dat een fase moet worden uitgevoerd te delen door het aantal keren dat de desbetreffende fase ook gevolgd wordt door de volgende. Het spreekt voor zich dat hier nooit een 100% score behaald kan worden want dat zou betekenen dat het mogelijk is om hoogwatergebeurtenissen exact te voorspellen. Wel is het zo dat als hier erg laag gescoord wordt, rekening gehouden moet worden met te hoge kosten, afbreuk van het vertrouwen bij de bevolking vanwege onnodig opzetten en een eventueel te hoge faalkanseis waar maar moeilijk aan voldaan kan worden omdat de frequentie van het aantal vragen te hoog is (zie paragraaf 3.2 en kader 2). Deze ratio wordt in het computerprogramma uitgerekend (bijlage E).

# 6

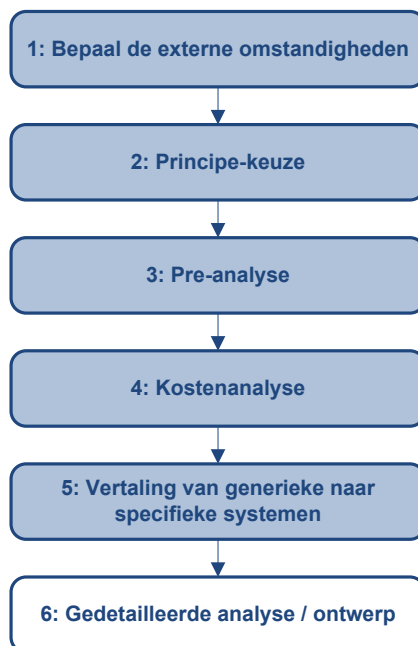
## STAPPENPLAN KEUZEMODEL

### 6.1 ALGEMENE WERKWIJZE TOT STAND KOMEN KEUZE

De keuze voor een tijdelijke of demontabele kering begint bij het eenduidig vast stellen dat een vaste kering onder geen voorwaarde haalbaar is en dat een mobiele kering, al dan niet onderbroken met vaste delen de beste oplossingsrichting is. Het stroomschema hieronder geeft op hoofdlijnen de te doorlopen stappen vanaf die constatering weer om te komen tot een weloverwogen keuze voor een bepaald systeem van mobiele waterkering. Overigens kan ook uit het keuzemodel volgen dat het niet mogelijk is om in een bepaalde situatie een mobiele kering toe te passen.

Zoals al opgemerkt is de uiteindelijke keuze aan de beheerder: De beheerder moet zich in staat achten om, gegeven de inspanning (uitgedrukt in kosten, rekeninghoudend met de frequentie van optreden van de opeenvolgende fasen en herstelmogelijkheden), de (globale) faalkanseisen per fase en de systeemspecifieke kenmerken, de mobiele kering betrouwbaar te kunnen sluiten. Daarna zal een nadere detaillering plaats moeten vinden.

FIGUUR 6.1 STROOMSCHEMA ALGEMENE WERKWIJZE KEUZE MOBIELE WATERKERING



De volgorde van de stappen en de afwegingen die gemaakt worden, zijn gekozen om op efficiënte wijze een keuze te maken uit de systemen die voor een onderhavige situatie het meest waarschijnlijk kunnen voldoen aan de norm-eisen en om de daarbijbehorende eisen aan de interne organisatie te identificeren. Hiermee is het echter niet zeker dat uit een detailontwerp en faalkansanalyse ook daadwerkelijk voldaan wordt aan de norm-eisen; hiervoor is het noodzakelijk om de kans op falen van de afzonderlijke onderdelen in de sluitingsproce-

dure per generiek systeem te kwantificeren. Dit viel echter buiten het (huidige) kader van het keuzemodel. Bij een detailontwerp kan blijken dat een generiek systeem alsnog niet voldoet en dat er (naar verwachting kleine) aanpassingen nodig zijn aan het specifieke systeem om het aan de norm te laten voldoen. Verwacht wordt echter dat in de meeste gevallen de vanuit het keuzemodel aanbevolen generieke systemen, ook bij het detailontwerp voldoen, al dan niet na beperkte aanpassing aan het systeem of fine-tuning van organisatorische aspecten.

In **stap 1** wordt gekeken naar de externe omstandigheden (beschikbare tijd, waterstanden en dergelijke). Uit deze stap blijkt de tijd die beschikbaar is voor de verschillende fasen, met een statistische onderbouwing en de overschrijdingskans van de beschikbare tijd (95 tot 95 procent). Daarnaast wordt hier ook bepaald hoe vaak de kering gesloten moet worden. Dit is van belang voor de keuze van de niveaus waarbij de verschillende fasen in werking treden en hoe vaak deze afzonderlijk voorkomen.

In **stap 2** wordt vervolgens een principekeuze gemaakt tussen een demontabele en tijdelijke kering. De lokale omstandigheden, c.q. de ondergrond is hier de belangrijkste parameter. In de meeste gevallen (lees: bij primaire keringen) zal de ondergrond aanleiding zijn om een demontabele waterkering toe te passen omdat hiermee de stabiliteit gedurende de gebruiksfase beter gewaarborgd kan worden en er betere herstelmaatregelen getroffen kunnen worden. Als de ondergrond niet van invloed is, of als het risico acceptabel is (lees: bij regionale keringen) kunnen beide hoofdtypen toegepast worden. Daarnaast wordt hier ook direct gekeken of de te keren waterstand wel realiseerbaar is met de generieke systemen. Dit betreft onder meer de inpasbaarheid van een systeem in de omgeving (bochten, wijze van aansluiting op bestaande (vaste) constructies en dergelijke). Als aan dergelijke basiseisen niet voldaan kan worden valt een generiek systeem direct af.

**Stap 3** is een preanalyse waarin op hoofdlijnen gekeken wordt naar de voorwaarden voor een betrouwbare sluiting. Dit wordt gedaan door na te gaan in hoeverre binnen de beschikbare tijd het mogelijk is om de kering (op basis van de kengetallen die gegeven zijn bij de generieke systeembeschrijvingen), comfortabel te sluiten. Hierbij wordt uitgegaan van de tijd die in 95 en in 99 procent van de gevallen wordt overschreden, ofwel: in 95, respectievelijk 99 procent van de gevallen is er meer tijd beschikbaar dan de minimum tijd.

Als geen of te weinig systemen geschikt lijken voor toepassing kan de ontwerper er voor kiezen om het OKP en/of waarschuwingspeil aan te passen, zodat er alsnog een of meerdere systemen gekozen kunnen worden. Voorwaarde hierbij is dat dit economisch acceptabel is en dat de faalkans-eis acceptabel is in relatie tot de frequentie van optreden van de vraag en de specifieke kenmerken van een systeem. Als het niet haalbaar is om, na aanpassing van OKP en/of waarschuwingspeil, binnen de gestelde tijd de kering met een generiek systeem te sluiten, is het niet mogelijk om in deze situatie een mobiele kering toe te passen als primaire kering. Hierbij wordt ook gekeken naar de faalkans-eisen per gebeurtenis.

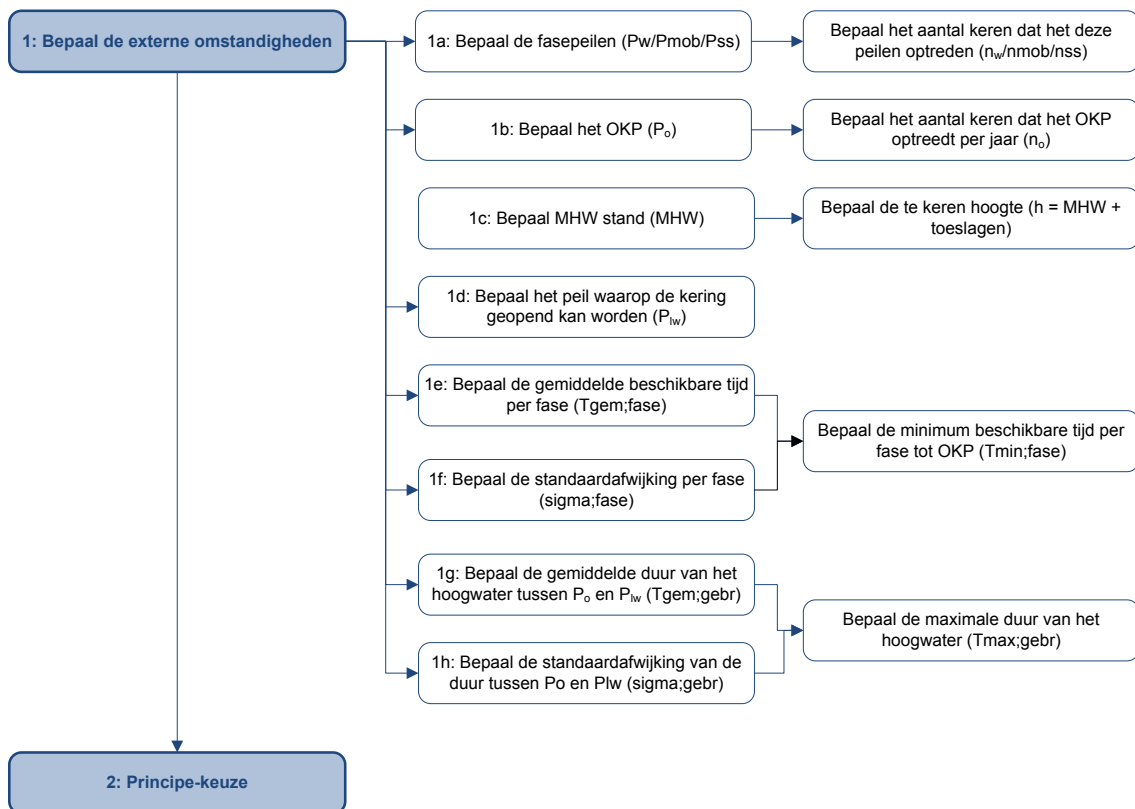
In **stap 4** worden de kosten bepaald die gepaard gaan met het beheren van de mobiele keringen, waarbij onderscheid gemaakt wordt naar de investeringskosten en de jaarlijkse kosten. Het totaalbeeld dat aldus ontstaan is kan opnieuw aanleiding geven tot het aanpassen van de lokale omstandigheden (OKP / Pw) of de afzonderlijke niveaus of leiden tot het in meer detail beschouwen van specifieke systemen die behoren tot de generieke categorieën mobiele keringen.

**Stap 5** betreft het maken van een keuze voor één of meerdere generieke systemen en het vertalen van deze naar een specifiek systeem. U beschikt hiermee over voldoende gegevens om een gedetailleerd ontwerp te (laten) maken waarbij er geen verrassingen zijn in het dagelijks beheer en waarbij de ontwerpgrondslagen eenduidig zijn vastgelegd. Deze 6<sup>e</sup> en laatste stap maakt echter geen onderdeel uit van dit keuzemodel.

## 6.2 STAP 1: BEPALEN EXTERNE OMSTANDIGHEDEN

De externe omstandigheden zijn bepalend bij de keuze van een type mobiele kering. Immers, de externe omstandigheden bepalen de beschikbare tijd en de afmetingen van de mobiele kering. Hierbij is het ook van belang om goed te weten hoe vaak de kering opgezet moet worden, hoe hoog deze moet zijn en hoe vaak het eventueel voorkomt dat de kering onnodig gesloten wordt. Dit laatste aspect heeft immers ook economische gevolgen (zie paragraaf 3.1). De waterhoogten die met de verschillende systemen gekeerd kunnen worden zijn weergegeven in bijlage A. In hoofdstuk 5 is de kostenoptimalisatie beschreven.

FIGUUR 6.2 INVENTARISEREN EXTERNE OMSTANDIGHEDEN



## 6.3 STAP 2: PRINCIPEKEUZE

Op basis van de geïnventariseerde externe omstandigheden kunt u een principekeuze maken tussen tijdelijke of demontabele keringen.

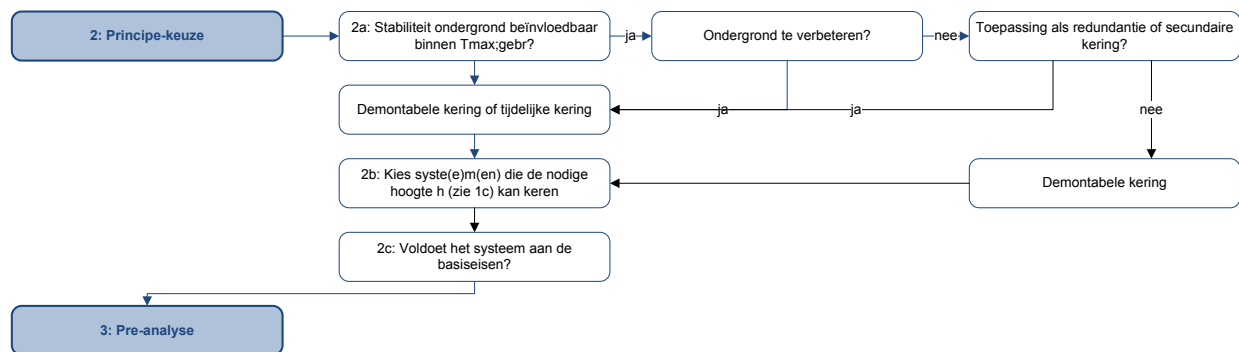
Indien u verwacht dat er binnen de maximale tijdsduur dat de mobiele kering in gebruik is, het gevaar bestaat dat de ondergrond van de kering onder invloed van het hoogwater verandert en er geen verbetering van de ondergrond mogelijk is, of het hier geen redundantie maatregel betreft of secundaire kering, kunnen alleen demontabele keringen worden toegepast. Het

gaat hierbij om lekwater tussen de constructie en de ondergrond en aspecten als verankering (indien van toepassing), waardoor de ontwerpcriteria wijzigen en de standzekerheid niet gegarandeerd kan worden.

Als u verwacht dat de stabiliteit van de ondergrond niet beïnvloed wordt gedurende de maximale periode dat de kering in gebruik is, kunnen zowel demontabele als tijdelijke keringen worden toegepast.

Op basis van de in stap 1 bepaalde noodzakelijke kerende hoogte, kan vervolgens een keuze gemaakt worden uit de verschillende generieke typen mobiele kering. Deze keringen dienen aan de basiseisen te voldoen. Dat wil zeggen dat deze systemen bijvoorbeeld inpasbaar moeten zijn in de bestaande situatie of dat het mogelijk moet zijn om bochten te maken. Generieke typen mobiele keringen die hieraan voldoen worden in stap 3 nader beschouwd.

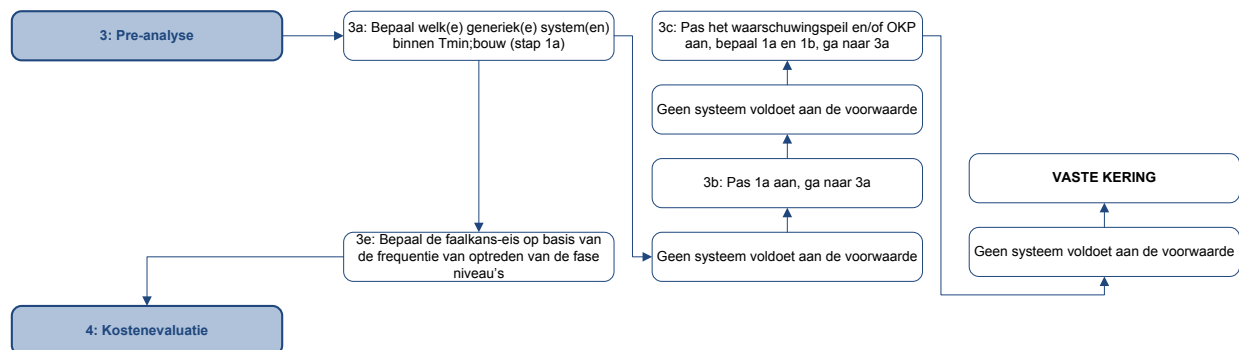
FIGUUR 6.3 HET MAKEN VAN EEN PRINCIPEKEUZE UIT BESCHIKBARE SYSTEMEN



#### 6.4 STAP 3: PREANALYSE HAALBAARHEID

In de preanalyse wordt de globale haalbaarheid van de systemen beschouwd door te kijken of het mogelijk is om de systemen comfortabel binnen het minimum aan beschikbare tijd te sluiten. Hierbij ligt de nadruk op fase 3 (sluiten).

FIGUUR 6.4 PREANALYSE OP BASIS VAN BESCHIKBARE TIJD



Op basis van de kentallen die gegeven zijn in bijlage A is te beoordelen of een kering binnen de tijd gesloten kan worden en hoeveel personeel hiervoor nodig is. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat een verdubbeling van personele inzet niet noodzakelijkerwijze betekent dat de bouwtime ook halveert. Hoe meer mensen er bij betrokken raken,

des te groter de inefficiëntie kan worden. Dit geldt vooral voor de grote aantallen waarbij men elkaar in de weg kan gaan lopen en niet zo zeer voor kleine aantallen (bijvoorbeeld tot 10 personen). Het geeft echter wel een goed beeld van de voorwaarden waaronder de bouwtijd gehaald kan worden.

Als geen van de systemen binnen fase 3 opgebouwd kan worden omdat de omvang bijvoorbeeld te groot is of omdat u beschikt over te weinig personeel, kan er voor gekozen worden om bijvoorbeeld een kortere alarmfase te gebruiken of om tijd te besparen door fase 2 aan te passen (bijvoorbeeld lokale opslag versus opslag op afstand). Zodoende ontstaat er meer tijd voor het sluiten (fase 3) en komen er mogelijk wel systemen voor gebruik in aanmerking. Voorwaarde is uiteraard wel dat alle werkzaamheden die bij de alarmfase behoren binnen die kortere tijd uitgevoerd kunnen worden. Als nog steeds geen systemen beschikbaar zijn, kunt u hier nieuwe niveaus kiezen (stap 1a en 1b) waarmee meer tijd gecreëerd wordt.

Van de systemen die in fase 3 comfortabel binnen de tijd gebouwd kunnen worden kan vervolgens de faalkanseis per fase bepaald worden (zie paragraaf 3.4) en kan worden doorgedaan naar de stap 4.

#### **6.5 STAP 4: KOSTEN**

In deze stap bepaald u de NCW van de systemen die comfortabel binnen de tijd zijn op te zetten en waarvan de faalkanseis bekend is. Bij het bepalen van de NCW maakt u het onderscheid naar de investeringskosten, jaarlijkse vaste kosten en de jaarlijkse variabele kosten (zie hoofdstuk 5). Hierbij houdt u rekening met alle kosten in alle drie fasen die relevant zijn voor de generieke typen mobiele keringen die binnen de tijd kunnen worden opgebouwd, met inbegrip van de kosten voor de relevante herstelmaatregelen.

De frequentie van optreden van de niveaus waarbij steeds een volgende fase in gaat en het al dan niet bereiken van het volgende niveau, maakt het mogelijk om de jaarlijks variabele kosten te berekenen en de effectiviteitsratio.

#### **6.6 STAP 5: ACCEPTATIE EN VERTALING VAN GENERIEK NAAR SPECIFIEK**

Het totaalbeeld dat ontstaan is bestaat uit haalbare generieke systemen, de inspanning (inclusief integrale herstelmaatregelen en de kosten die deze generieke systemen in uw situatie vergen en de faalkanseis als indicatie van de verantwoordelijkheid die op u als beheerder komt te rusten. Op basis hiervan kunt u kiezen uit een of meerdere specifieke systemen mobiele keringen en eisen stellen voor het ontwerp.

Belangrijk is dat specifieke systemen waarvan de systeembeschrijvingen zijn opgenomen in bijlage B bij de beheerder voldoende vertrouwen wekken dat aan de eisen die nu bekend zijn voldaan kan worden. Mogelijk vergt dit kleine aanpassingen aan de systemen, wat vaak mogelijk blijkt in overleg met de fabrikanten.

Deze stap is het vertrekpunt voor een gedetailleerde analyse / ontwerp van een mobiele waterkering, waarbij een eenduidige ontwerpgedachte is ontstaan en er geen verrassingen zouden moeten zijn waar het de grote verantwoordelijkheid die bij de beheerder rust betreft.

# 7

## LITERATUUR

- 1 Technische Adviescommissie Waterkeringen (2003), 'Leidraad Kunstwerken', TAW, ISBN 90 369 5544 0.
- 2 Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. (2004), 'Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz (Merkblatt 6)', BWK, ISBN 3 936015 16 3.
- 3 Ogunyoye, F, Van Heereveld, M.A. (2002), 'R&D Publication 130 – Temporary and Demountable Flood Protection - Interim Guidance on Use', DEFRA.
- 4 ENW, Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007), 'Leidraad Rivieren – Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied', Ando Den Haag, ISBN 978 90 369 1409 3.
- 5 Technische Adviescommissie Waterkeringen (2003), 'Technisch Rapport Steenzettingen – Ontwerp', TAW, ISBN 90 369 5551 3.



## 8

## BEGRIPPENLIJST

*Netto Contante waarde*

Naar het huidige kostenniveau teruggerekende toekomstige kosten.

*Coupure*

Onderbreking in de waterkering voor de doorgang naar de stad of veerpont van een (water)weg of spoorweg die bij hoge waterstanden afsluitbaar is.

*Discontovoet*

Rente die de centrale bank rekent over aan de commerciële banken uitgeleend geld in procenten per jaar.

*Falen*

Het niet meer vervullen van de functie, ofwel het overschrijden van de grenstoestanden (leidend tot overstroming) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (leidend tot wateroverlast en schade maar nog niet tot overstroming).

*Investeringskosten*

De aanschaf van de mobiele kering, inclusief alle kosten voor het inrichten van de locatie waar de kering moet worden opgebouwd en de opslaglocatie en al het materieel voor zover dat niet ingehuurd wordt.

*Jaarlijkse variabele kosten*

De kosten die voortkomen uit het in werking treden van een of meerdere fasen in het sluitingsproces van mobiele keringen, voor zover niet bestaand uit de jaarlijkse oefening van het sluitingsproces, met inbegrip van kosten voor herstelmaatregelen die onderdeel uitmaken van de mobiele kering.

*Jaarlijkse vaste kosten*

Alle kosten voor het onderhouden van de mobiele kering, inclusief het éénmaal per jaar oefenen van het volledige sluitingsproces.

*Kruin*

Het hoogste punt van de waterkerende constructie.

*Maatgevende Hoogwaterstand (MHW)*

Ontwerppeil volgens de norm van artikel 3.2 van de Wet op de waterkering, c.q. de waterstand die als uitgangspunt genomen wordt voor het ontwerpen van primaire keringen.

*Mobilisatiepeil (Pmob)*

Buitenwaterstand waarbij bij overschrijding de mobilisatiefase ingaat.

*Normfrequentie of norm*

Overschrijdingsfrequentie van MHW. Deze is per dijkkring vastgelegd in de Wet op de waterkering.

*Open keerhoogte (OKH)*

De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare sluitmiddelen bij open afsluitmiddel, danwel de kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater.

*Open keerpeil (OKP)*

Buitenwaterstand bij welke open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt.

*Openingspeil (Po)*

Waterstand waarbij, na een hoogwater, de afsluitmiddelen van een waterkering mogen worden geopend.

*Overbelasting*

Treedt op als het geldende overslagcriterium (maximaal toelaatbaar debiet over de kering) wordt overschreden.

*Overschrijdingsfrequentie*

Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt en overschrijdt.

*Peil start sluiten (Pss)*

Buitenwaterstand waarbij bij overschrijding de fase ingaat waarbij de mobiele kering feitelijk wordt opgebouwd.

*Primaire waterkering*

Waterkering die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit, ofwel voor een dijkkringgebied is gelegen.

Redundantie Meervoudige uitvoering van een onderdeel zodat na falen van één onderdeel de functie door een ander onderdeel wordt overgenomen.

*Signaleringsmoment*

Moment waarop een dreigende overschrijding van OKP wordt onderkend, waarna waarschuwingen worden verzonden aan bedienend en beslissend personeel.

*Sluitingsproces*

Het doorlopen van alle fasen vanaf het moment van overschrijden van het waarschuwingspeil (Pw) tot en met het succesvol afronden van de bouw van de kering naar aanleiding van het overschrijden van Pss.

*Waakhoogte*

De actuele hoogte van de kruin van een waterkering boven het MHW.

*Waarschuwingspeil (Pw)*

Buitenwaterstand waarbij bij overschrijding de fase van verhoogde staat van paraatheid ingaat voor het bedienend en beslissend personeel.



BIJLAGE A

# BESCHRIJVING GENERIEKE SYSTEMEN MOBIELE WATERKERINGEN

## 1 BESCHRIJVING (GENERIEKE) SYSTEMEN

### 1.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden de diverse typen generieke systemen beschreven, waarbij van elk type op hoofdlijnen de specifieke kenmerken weergegeven worden, die het van andere systemen onderscheidt.

In dit rapport wordt onderscheid gemaakt naar demontabele en tijdelijke waterkeringen.

Onder demontabele waterkeringen wordt verstaan de systemen, waarvan enkele onderdelen al op de locatie zijn geïnstalleerd, zoals een fundering. Tevens bestaat er bij deze systemen soms de mogelijkheid tot het automatisch (hydraulisch) installeren en afbouwen van de kering.

Tijdelijke keringen zijn systemen die nog naar de locatie moeten worden vervoerd en volledig geïnstalleerd moeten worden. Na afbouw blijft er niets op de locatie achter. Over het algemeen geldt, dat voor deze keringen een langere mobilisatie en op/afbouwtijd benodigd is.

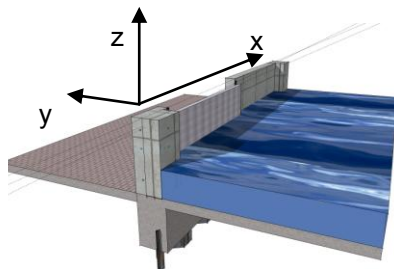
In de hierna volgende paragrafen, zullen de diverse beschikbare systemen uiteengezet en vergeleken worden. In paragraaf 2.2. komen de demontabele systemen aan de orde, in paragraaf 2.3 de tijdelijke keringen. Van alle onderzochte systemen zijn factsheets gemaakt waarin niet alleen de technische eigenschappen zijn opgenomen, maar ook de benodigde inzet van mens en materieel, het ruimtebeslag en andere aandachtspunten. Deze factsheets zijn in de bijlagen bij dit rapport opgenomen.

### 1.2 DEMONTABELE SYSTEMEN

#### 1.2.1 ALGEMEEN

Een overzicht van de generieke systemen binnen het veld demontabele waterkeringen volgt in tabel 2.1. Per generiek systeem zijn de hoofdkenmerken weergegeven. De verschillende systemen worden in de hierna volgende subparagrafen uitgebreider beschreven. Met uitzondering van de Rapidam bestaan alle onderzochte demontabele keringen uit rigide elementen. Van de rigide elementen kan een verdere onderverdeling gemaakt worden in de wijze van sluiting van de kering. In beginsel zijn er 6 mogelijkheden: translaties en rotaties in x-, y- en z-richting, zie figuur 2.1. Er zijn geen systemen gevonden welke gesloten worden met een translatie of rotatie om de y-as, dwars op de kering. Translaties of rotaties om de z-as, de hoogte-as, worden wel toegepast om een mobiele kering te sluiten.

FIGUUR A1.1 ORIËNTATIE VAN DE WATERKERING



In paragraaf 2.2.1 worden de schotbalksystemen geanalyseerd waarbij de kering van laag naar hoog wordt opgebouwd. In paragraaf 2.2.2 volgen de deursystemen die door middel van een translatie of rotatie worden geplaatst. In paragraaf 2.2.3 worden enkele typen behandeld die niet in één van deze categorieën zijn te plaatsen.

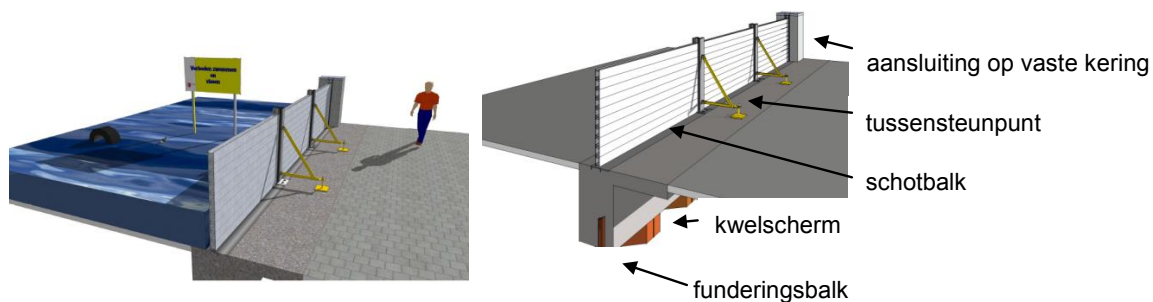
TABEL A1.1 OVERZICHT KENMERKEN DEMONTABELE KERINGEN

Demontabele keringen	D1: Schotbalksystemen (opbouw / translatie z-as)	D2: Opklapbare deursystemen (rotatie x-as)	D3: Schuivende deursystemen (translatie x-as of z-as)	D4: draaiende deursystemen (rotatie om z-as)
Max. lengte [m]	∞	∞	15	Beperkt
Keringhoogte [m]	6	3	Op maat gemaakt	Op maat gemaakt
Opzettijd 100 m x 1 m [uur]	4	4	15 min. (handmatig)	Afhankelijk van situatie
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	2	1	1
Materieel	Kraan, vorkheftruck, vrachtwagen	Nvt	Nvt	Nvt
Opslagruimte	Afhankelijk van kwantiteit	Nvt	Nvt	Nvt
Multi-functioneel ruimtegebrek	Afhankelijk van bereikbaarheid transportmiddel en materieel	Nvt	Nvt	Nvt

Behandelde systemen: Invisible Flood Control Wall (IFCW), WasserWand Wibbeler, Intovaive 'Stoplog' removable flood barrier, Flood Guard en Flood Dam K, BL/HAP-SB floodwater barrier, BAUER-IBS flood protection system, Antiflood barrier system, Dutchdam, Hydraulic barrier, Presray Flood Gates, Rapidam, Self Closing Wall (SCW), Self Closing Flood Barrier (SCFB), Ferndon Flood Gates, TKR Aluminium Dammbalken System, TKR Spundwandmodule

## 1.2.2 SCHOTBALKSYSTEMEN

FIGUUR A1.2 SCHOTBALKSYSTEEM OP HOOFDLIJNEN



Het principe van schotbalksystemen (zie figuur 2.2) is terug te voeren tot een funderingsbalk in de ondergrond die geschikt is voor waterdichte afsluiting. In de funderingsbalk bevinden zich voorzieningen voor het verankeren van tussensteunpunten (sponningsprofielen) die verticaal op of in de funderingsbalk worden geplaatst. Tussen de sponningsprofielen worden vervolgens schotbalken of platen geplaatst. Afhankelijk van de te keren hoogte worden de sponningsprofielen gestut naar de ondergrond aan de droge zijde.

De schotbalken of platen worden in verband met mogelijk opdrijven verankerd aan de funderingsbalk. Tussen de afzonderlijke schotbalken is doorgaans een rubber profiel aanwezig ter afdichting (zie ook paragraaf 2.2.6). Op dezelfde wijze wordt ook waterdichtheid tussen de ondergrond (funderingsbalk) en de mobiele kering bewerkstelligd. Middels een sponningsprofiel is een deugdelijke aansluiting te realiseren op bestaande constructies / vaste keringen.

Bochten en hoeken zijn te maken bij ieder sponningsprofiel zodat het systeem goed is in te passen in de bestaande omgeving. Na afbouw is alleen de funderingsbalk zichtbaar. Behoudens schroefgaten of straatpotten blijven geen andere onderdelen in de fundering achter.

*N.B.: Straatpotten komen bij de moderne schotbalksystemen nauwelijks meer voor, maar worden hier volledigheidshalve genoemd. In het geval van houten schotbalksystemen (uitgevoerd in een dubbele rij met daartussen een mengsel paardenmest met stro voor de waterdichtheid) wordt de staander in een houder in de grond geplaatst.*

FIGUUR A1.3 SCHOTBALKSYSTEEM IN DE PRAKTIJK MET EXTRA STEUNPUNTEN

### WIJZE VAN OPBOUWEN

Allereerst moet de funderingsbalk vrij gemaakt worden van vuil en dergelijke zodat een waterdichte afsluiting gemaakt kan worden. De schroefgatverbindingen of straatpotten worden vervolgens schoongemaakt, waarna de sponningsprofielen geplaatst kunnen worden op het waterkeringstracé met daaraan gekoppeld de schraagvoorziening. Vervolgens worden de schotbalken of platen, één voor één tussen de profielen geplaatst tot de gewenste hoogte. Wanneer de gewenste hoogte is bereikt worden de profielen verticaal aangespannen zodat de horizontale tussenafdichten (rubberen profielen) goed afsluiten. Vervolgens wordt door middel van aandrukplaten het geheel tegen de binnenzijde van het sponningsprofiel aangedrukt, zodat ook de verticale afdichtingen goed afsluiten.

### MATERIAAL

De schotbalken bestaan, afhankelijk van de fabrikant, uit roestvast staal, aluminium of gewoon staal. Er zijn geen belangrijke verschillen vanuit het oogpunt van duurzaamheid of kwaliteit geconstateerd. Kunststofbalken zijn in ontwikkeling. De schotbalken zijn voorzien van (vervangbare) rubberprofielen.

### TOEPASSINGSGEBIED

Schotbalksystemen zijn inzetbaar tot een hoogte van circa 5,0 m. De individuele schotbalken zijn doorgaans 2,0 tot 3,0 m lang, 0,2 m hoog en tot 0,1 m dik. Omdat de schotbalken in verband met mogelijk opdrijven aan de funderingsbalk worden verankerd is het noodzakelijk om de verwachte noodzakelijke hoogte in één keer op te zetten. Naderhand verder ophogen is niet mogelijk. Vanuit het systeem zelf is er geen beperking ten aanzien van de maximale lengte. Daarnaast kan het systeem ook gebruikt worden als keermiddel in een coupure.

De constructie is geschikt om zowel stilstaand als stromend water met enige golfslag te keren. Het systeem is niet geschikt als overstroombare constructie.

### CONSTRUCTIEONDERDELEN

Een schotbalkkering bestaat uit de volgende afzonderlijke onderdelen: schotbalken, sponningsprofielen, schragen, verticale koppelstukken en een permanent aanwezige funderingsbalk.

## ONTWERP EN CONSTRUCTIEVE AANDACHTSPUNTEN

Afhankelijk van de hoogte van het systeem moet worden bepaald in hoeverre er breedte benodigd is voor installatie. Dit heeft te maken met de hoeksteunen die benodigd zijn als het systeem boven een bepaalde hoogte reikt.

De onderdelen zijn over het algemeen uitwisselbaar. Bij coupures dient echter goed gelet te worden op toepassing van de juiste steunen, aangezien hier over het algemeen maatwerk wordt toegepast.

## SPECIFIEKE GEBRUIKSERVARINGEN

Bij opslag moet rekening worden gehouden met contacterosie. Bij afbouw zorgen dat de rubbers op de goede plaats zitten. De rubbers kunnen gevoelig zijn voor vandalisme en schade. De onderdelen zijn over het algemeen uitwisselbaar. Bij coupures dient echter goed gelet te worden op toepassing van de juiste steunen, aangezien hier over het algemeen maatwerk wordt toegepast.

TABEL A1.2 OVERZICHTSTABEL SPECIFIEKE KENMERKEN SCHOTBALKSYSTEMEN

Systeem	Antiflood barrier system	BAUER-IBS	BL/HAP-SB floodwater barrier	Flood Guard	Intovalse stoplog	Invisible Flood Controle Wall	TKR Aluminium Dammbalken system	Wasser-Wand wibbeler
Max. lengte [m]	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	100
Keringhoogte [m]	0,7	5	locatie afhankelijk	5	locatie afhankelijk	5	ongestut: 2,5 m, gestut: tot 6 m	3,1
Opzettijd 100 m x 1 m [uur]	2,5	3	4	1	-	2	2	2
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	2	2	2	-	2	10	2
Materieel	-	vorkheftruck & kraan	vorkheftruck	-	-	vrachtwagen	vorkheftruck & kraan	kraan
Opslagruimte	per paneel: 1,2 m x 0,77 m x 0,5 m	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit	afhankelijk van kwantiteit
Multi-functioneel ruimtegebrek	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid	afhankelijk van bereikbaarheid

## SYSTEMSPECIFIEKE RISICO'S

Typische risico's waar bij dit type mobiele keringen rekening gehouden moet worden zijn:

- Eventuele relatieve verplaatsingen van afzonderlijke planken waardoor lekkage op kan treden en vervorming;
- Het al dan niet voorzien van een systeem van een steunconstructie;
- Het grote aantal afdichtingen;
- Het grote aantal verschillende onderdelen zoals bevestigingsmiddelen, aanspanvoorzieningen, bouten, vandalisme / beschadiging in opslagplaats of tijdens transport;
- Kans op verwisseling van verschillende elementen gezien het grote aantal onderdelen;
- In het geval van grote / zware elementen is een hefinrichting nodig.

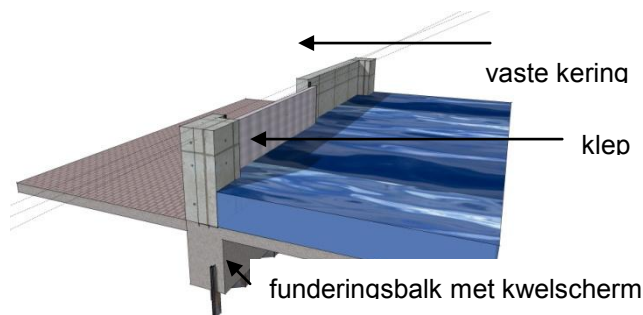
## RISICOBEPERKENDE MAATREGELEN

- Beschikbaar hebben van extra steunen;
- Beschikbaar hebben van extra damplanken;
- Beschikbaar hebben van damplanken met twee maal de standaardlengte;
- Reserve onderdelen.



### 1.2.3 DEURSYSTEMEN

FIGUUR A1.4 ENKELE VOORBEELDEN VAN DEURSYSTEMEN



Onder deursystemen worden alle typen demontabele keringen gevat waarbij de kering door middel van een deur vanaf de zijkant, de bovenkant of vanuit de ondergrond gesloten wordt door middel van een rotatie of translatie van de deur. Evenals bij de schotbalksystemen vergt dit een onderaanslag / funderingsbalk en een gedegen aansluiting op de vaste kering aan weerszijden van het te sluiten traject. Deursystemen worden meestal toegepast in coupures met navenant korte lengte. In ruste zijn alle elementen van dit type demontabele kering ter plaatse aanwezig.

Meest voorkomende typen zijn opklapbare deuren (type D2, verticale rotatie om x-as), schuifdeuren (type D3, horizontale translatie), hef- of zakdeuren (type D3, verticale translatie) en draaideuren (type D4, horizontale rotatie om z-as).

#### WIJZE VAN OPBOUWEN

Als het deursysteem eenmaal is geïnstalleerd, varieert de opbouwtijd van een kwartier tot circa acht uur. Dit is afhankelijk van het type deursysteem. Deursystemen die uitschuiven vanuit een sleuf in de grond of in de muur vergen weinig installatietijd, maar hebben maar een relatief kleine maximale lengte. Deursystemen die vanuit de grond opklapbaar zijn hebben een (veel) grotere maximale lengte. Afhankelijk van deze lengte varieert de installatietijd. Door de mogelijkheid tot het handmatig of hydraulisch bedienen van de systemen, kan de installatietijd aanzienlijk worden verkleind. Gezien de installatiemethode en de simpele constructie, is het vrijwel onmogelijk om het systeem op onjuiste manier te installeren. Over het algemeen zijn geen hulpmiddelen benodigd voor de opbouw en behoeft de bodem, afgezien van de eerste installatie, geen preparatie.

#### MATERIAAL

Deursystemen bestaan over het algemeen uit (roestvast)stalen of aluminium profielen, die handmatig of hydraulisch uit een betonnen of stalen fundering tevoorschijn komen. Er zijn ook systemen bekend waarbij de deur uit glasvezel bestaat. Deze systemen worden over het algemeen door waterdruk automatisch in gebruik genomen. Ook is het mogelijk om deuren in hout uit te voeren.

#### TOEPASSINGSGBIED

Deursystemen kunnen, afhankelijk van het type (uitklapbaar of uitschuifbaar), worden toegepast voor het afsluiten van coupures, wegen of voor tijdelijke ophoging van kademuren, dijken en andere waterkeringen. De kerende hoogte is over het algemeen mogelijk tot enkele meters. De lengte is systeemafhankelijk. Voor schuif-, hef- en draaideuren kan doorgaans een maximale lengte van 15 meter worden gehaald. Voor uitklapbare systemen zijn honderden meters mogelijk. De systemen zijn gemaakt om golfslag en deining te weerstaan.

## CONSTRUCTIEONDERDELEN

De deuren kunnen van diverse soorten materialen zijn gemaakt, zoals aluminium, (roestvast) staal, glasvezel en hout. De fundering/opbergconstructie bestaat uit beton of staal.

## ONTWERP EN CONSTRUCTIEVE AANDACHTSPUNTEN

Er dient aandacht te worden geschonken aan de waterdichte aansluiting van de deur op de funderingsbalk en de aansluiting aan weerszijden van de deur.

## SPECIFIEKE GEBRUIKSERVARINGEN

Ten aanzien van het voorkomen van vernieling, vandalisme of opening van de kering tijdens hoogwater, dient goed te worden nagedacht over de mogelijkheden van het vergrendelen (dmv sloten) van de deuren. Rubberonderdelen kunnen worden beschadigd door vandalisme.

## BEKENDE VARIANTEN

Scharnierende (draai)deuren, horizontale schuifdeuren en opklapbare deuren.

TABEL A1.3 OVERZICHTSTABEL SPECIFIEKE KENMERKEN DEURSYSTEMEN

Systeem	Dutchdam	Ferndon Flood gates	Hydraulic barrier	Presray Flood Gates	Self Closing Flood barrier (SCFB)	Self Closing Wall (SCW)	TKR Hochwasserschuttklappsystem
Max. lengte [m]	∞	variabel	12	∞	100	∞ (100 m aanbevolen)	∞
Keringhoogte [m]	1,5	variabel	op maat gemaakt	3	2	2	1
Opzettijd 100 m x 1 m (uur, handmatig)	4	15 min.	15 min. (12 m)	4	nvt (automatisch)	nvt (automatisch)	0,5
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	1	1	2	nvt	nvt	1
Materieel	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Opslagruimte (per 100 m)	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Multi-functioneel ruimtegebrek	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt

## SYSTEEMSPECIFIEKE RISICO'S

Klepsystemen:

- Uitvallen van aandrijvingssystemen (hydraulica);
- Uitvallen / falen van mechanische hefinrichtingen;
- Falen van de opbouw vanwege het falen van één onderdeel (éénrichtingsopbouw).

Deursystemen:

- Falen van de opbouw vanwege het falen van één onderdeel (éénrichtingsopbouw);
- Uitvallen / falen van mechanische hefinrichtingen;
- Beschadigde geleidesystemen;
- Achterstallig onderhoud aan de bewegingsinrichting;
- Blokkering door geparkeerde voertuigen.

Zelfoprijvende systemen:

- Vervuult / Verstopt raken van de leidingen;
- Vocht / corrosie in het systeem;
- Blokkering door geparkeerde voertuigen.

## RISICOBEPERKENDE MAATREGELEN:

### 1.2.4 OVERIGE DEMONTABELE SYSTEMEN

Naast de hiervoor beschreven systemen, zijn er nog enkele andere systemen die niet in bovenstaande categorieën kunnen worden ondergebracht. De flexibele Rapidam en de Spundwandmodule zijn hier twee voorbeelden van. De Rapidam is feitelijk een tijdelijke kering waarvoor al enkele voorzieningen zijn getroffen op de te plaatsen locatie. De beschrijving van dit systeem komt uitgebreid aan de orde in de volgende paragraaf.

De TKR Spundwandmodule bestaat uit een aantal gekoppelde stalen damwandplanken van een bepaalde lengte op een grondplaat, welke als geheel op een bestaande vlakke ondergrond geplaatst en verankerd wordt. Voor de waterdichte afsluiting is tussen de ondergrond en de grondplaat een rubberprofiel aanwezig.

Toepassingsmogelijkheden bet@t het tijdelijk ophogen van dijken, kademuren of andere waterkeringen, waarbij een vlakke ondergrond de belangrijkste voorwaarde is, om een waterdichte aansluiting op de bestaande kering te krijgen.

## 1.3 TIJDELIJKE WATERKERINGEN

Een overzicht van de generieke systemen binnen het veld tijdelijke waterkeringen en hun belangrijkste kenmerken wordt weergegeven in tabel A1.4. Ook deze systemen worden in de volgende paragrafen uitgebreid besproken. De tijdelijke keringen worden onderverdeeld in flexibele systemen (T1, vulcontainers en T2, water of luchtgevulde systemen) en rigide, vrijstaande constructies (T3).

TABEL A1.4 OVERZICHT KENMERKEN TIJDELIJKE WATERKERINGEN

Tijdelijke keringen	T1: Vulcontainers	T2: Systemen gevuld met water of lucht	T3: Vrijstaande keermiddelen
Max. lengte [m]	∞	∞	∞
Keringhoogte [m]	2	3	2,5
Opzettijd 100 m x 1 m [uur]	3,3	1,5 - 3	0,5 - 4
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	3	2
Materieel	betonmixer, vulmaterieel, pompen	pomp(en), generator, vrachtwagen, graafmachine	afhankelijk van systeem
Opslagruimte	pallets of containers	pallets, containers (in rollen)	afhankelijk van formaat
Multi-funcioneel ruimtegebrek	afhankelijk van bereikbaarheid transportmiddel en materieel	nvt	afhankelijk van bereikbaarheid transportmiddel en materieel

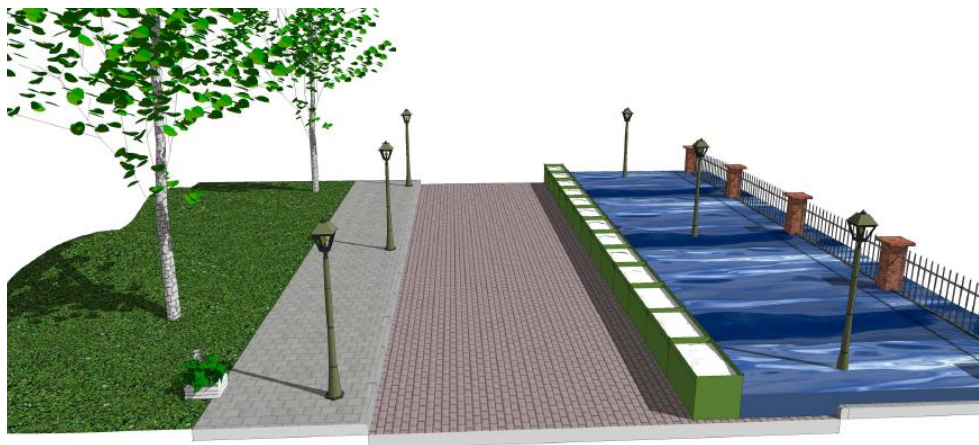
Behandelde systemen; Big Bag Harbeck GmbH, Dura-Bell Barricade, Hesco Concertainer Bastion, MRP Systems Modular Shielding, Quickdam Damm Flood Safety System, Aquadam, Aquatube, FloodMaster barrier, Mobile Dam, NOAA tubewall, Water-Gate instant waterkering, Richardson flood control panel barriers, Rapidam, Portadam, Paller Barrier, Zandzakken, Betonblokken, Aquastopdam.

### 1.3.1 VULCONTAINERS

Onder vulcontainers worden verstaan alle systemen die bestaan uit naast elkaar geplaatste delen welke worden gevuld met een ander materiaal. Onderscheid kan gemaakt worden tussen systemen die bestaan uit (gewapend) geotextiel en systemen die bestaan uit kunststof. De geotextiel systemen hebben een grote vulopening terwijl de kunststof systemen vaak slechts een kleine vulopening hebben. Sommige systemen zijn leverbaar met bevestigingsplaten voor aan een muur of aan de grond. De systemen worden in het algemeen middels een plakstrip, ring of metalen pin aan elkaar gekoppeld om waterdichtheid te garanderen.

FIGUUR A1.5

VOORBEELD VAN VULCONTAINERSYSTEEM



### WIJZE VAN OPBOUWEN

De losse delen van de vulcontainers worden handmatig naast elkaar geplaatst op de gewenste locatie. Vervolgens worden de delen stukvoorstuk gevuld met opvulmateriaal, zoals zand, grind, cement, grond, etc. Voor het opvullen van de delen kan divers materieel gebruikt worden, zoals een betonmixer, een pomp of een graafmachine. Indien het opvulmateriaal niet aanwezig is op locatie, zal dit aangeleverd moeten worden met behulp van een vrachtwagen.

### MATERIAAL

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten opvulcontainers. Allereerst zijn er de containers van geotextiel. Het geotextiel is meestal gewapend met bijvoorbeeld aluminium kokers, staal of hout. Dit type container wordt aan elkaar gekoppeld met behulp van bouten, pinnen, ringen of plakstrips.

Het tweede type container bestaat uit holle plastic delen die gemaakt zijn om in elkaar te passen. De delen worden opgevuld met materiaal door een (afsluitbare) opening aan de bovenkant.

### TOEPASSINGSGBIED

Vulcontainer systemen kunnen worden toegepast als secundaire waterkering, als afsluiting rond gebouwen, langs toegangswegen, bij deuren en langs oevers. Er zijn nog vele andere toepassingen denkbaar. Een belangrijk punt is dat rekening gehouden dient te worden met de bereikbaarheid van het opvul materiaal. Ook zijn de systemen slecht toepasbaar op locaties waar veel golfactiviteit wordt verwacht.

### CONSTRUCTIEONDERDELEN

Constructie onderdelen bestaan uit gep@abriceerde onderdelen. Voorbeelden hiervan zijn plastic containers en gewapende geotextiel zakken. Divers opvulmateriaal is benodigd voor opvulling.

### BEKENDE VARIANTEN

zandzakken, Big Bags.

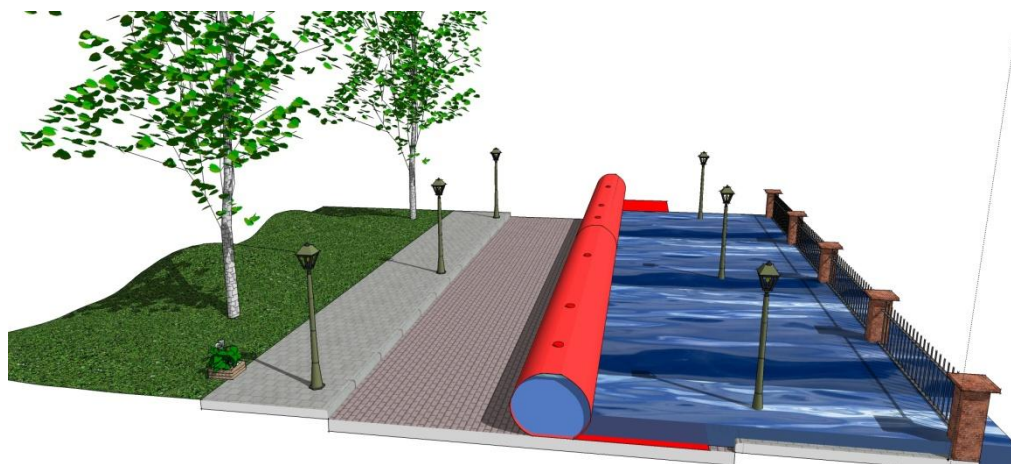
Overzichtstabel specifieke kenmerken:

Systeem	Big Bag Harbeck	Dura-Bell Barricade	Hesco Concertainer Bastion	MRP Systems Modular Shielding	Quickdam Damm Flood Safety System	Zandzakken
Max. lengte [m]	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Keringhoogte [m]	0,9	1,35	2,0	1,5	1,5	0,4
Opzettijd 100 m x 1 m [uur] (handmatig)	2,5	1,0	3,3	8,0	2 - 3	4
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	2	2	-	2	5
Materieel	Betonmixer	Vul materieel	Mechanisch vulsysteem	Container, pompen	Laadvoertuigen, pompen, vrachtwagen	Tractor, vorkheftruck
Opslagruimte [per 100 m]	4 pallets	-	1 pallet	Container (40 meter)	Container	Pallets
Multi-functioneel ruimtegebrek	Afhankelijk bereikbaarheid transportmiddel en materieel	-	Afhankelijk bereikbaarheid transportmiddel en materieel	Afhankelijk bereikbaarheid transportmiddel en materieel	Afhankelijk bereikbaarheid transportmiddel en materieel	Nvt

### 1.3.2 SYSTEMEN GEVULD MET LUCHT OF WATER

Systemen gevuld met lucht of water bestaan uit flexibele buizen, die door middel van het opvullen met lucht of water tot een kering worden getransformeerd. De leidingen bestaan uit kunststof, soms afgedekt met geotextiel. Door de flexibele aard van de systemen sluiten deze goed aan op de ondergrond.

FIGUUR A1.6 VOORBEELD VAN EEN SYSTEEM GEVULD MET LUCHT OF WATER



#### WIJZE VAN OPBOUWEN

De keringen worden geleverd in een rol of in opgevouwen staat. Door middel van uitrollen/uitvouwen kan het systeem op zijn plaats worden gebracht. De meeste systemen kunnen worden uitgerold tijdens het opvullen. Hierdoor wordt de installatietijd aanzienlijk verminderd. Door de flexibele aard van het systeem, behoeft de ondergrond nauwelijks preparatie, afgezien van het verwijderen van scherpe objecten en diepe gaten. De leidingen worden door middel van koppelstukken of een overlappingstechniek aan elkaar bevestigd, om zo diverse lengtes mogelijk te maken. Ook kunnen hierdoor diverse water/luchtdrukken bereikt worden.



### **MATERIAAL**

Het materiaal bestaat over het algemeen uit diverse soorten kunststof met een bescherming van geotextiel. De koppelstukken kunnen bestaan uit PVC of aluminium.

### **TOEPASSINGSGBIED**

De lucht- of watergevulde keringen worden voornamelijk toegepast op oevers (afhankelijk van de breedte), rond reservoirs, als secundaire waterkering of als afsluiting rond gebouwen. Door de lengte van het systeem is het vooral geschikt voor het beschermen van grotere gebieden en kan het gebruikt worden om waterstromen van richting te doen veranderen.

### **CONSTRUCTIEONDERDELEN**

Het systeem bestaat uit kunststof leidingen, met mogelijke koppelstukken van PVC of aluminium.

### **ONTWERP EN CONSTRUCTIEVE AANDACHTSPUNTEN**

Aangezien het terrein redelijk vlak moet zijn is er mogelijk een kleine graafmachine nodig. Scherpe objecten en grote keien dienen verwijderd te worden. Afhankelijk van het systeem dient gekeken te worden naar de mogelijk haalbare helling van de leidingen.

Overzichtstabel specifieke kenmerken:

Systeem	Aquadam (Water structures)	Aquatube	FloodMaster barrier	Mobile Dam	NOAQ tubewall
Max. lengte [m]	∞	∞	∞	∞	∞
Keringhoogte [m]	3,0	2,44	1,65	1,25	1,0
Opzettijd 100 m x 1 m [uur] (handmatig)	3	2	2	1,5	1,5
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	2	4	2	2	4
Materieel	Draagbare pompen	Pomp	Pomp(en), (mogelijk) graafmachine	Generator, 4 x 4 of vrachtwagen	Pomp
Opslagruimte [per 100 m]	Rollen, afhankelijk van lengte en hoogte	Op pallets afhankelijk van lengte en hoogte	Bijbehorende cilindervormige containers	4 m <sup>3</sup>	-
Multi-functioneel ruimtegebrek	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt

### 1.3.3 VRIJSTAANDE KEERMIDDELEN

Vrijstaande keermiddelen bestaan uit stalen frames, welke met verschillende materialen worden bedekt. De stalen frames worden op hun plaats gehouden door bijvoorbeeld het gebruik van pallets of balken. Ook kunststofconstructies zijn op de markt beschikbaar. Het systeem wordt afgedekt met een membraan om de constructie waterdicht te maken.

FIGUUR A1.7 VOORBEELD VAN EEN VRIJSTAAND KEERMIDDEL



#### WIJZE VAN OPBOUWEN

Het is te adviseren om het oppervlak vooraf vlak te maken, zodat het systeem goed waterdicht op de grond kan worden geplaatst. Sommige types kunnen met de hand worden vervoerd. Voor andere types is materieel nodig. Het membraan wordt uitgevouwen over de lengte benodigd voor waterkering. De stalen frames worden op een vooraf bepaalde afstand van elkaar geplaatst. Vervolgens worden pallets of schotten op de stalen frames geplaatst. Het membraan wordt over de stalen frames gevouwen en vastgemaakt.

## MATERIAAL

Vrijstaande keermiddelen bestaan uit stalen of kunststof frames en een waterdicht membraan. De frames worden aan elkaar bevestigd met behulp van diverse materialen, zoals schotten en pallets.

## TOEPASSINGSGEBIED

De vrijstaande keermiddelen kunnen over het algemeen gebruikt worden als secundaire waterkering, rond gebouwen, langs toegangswegen en langs waterlopen.

## CONSTRUCTIEONDERDELEN

FIGUUR A1.8

VRIJSTAANDE TIJDELIJKE KERING IN IRONBRIDGE (UK)



Diverse constructie onderdelen zijn: stalen staanders, kunststof en geotextiel. Bij het voorbeeld uit figuur A1.7 worden pallets gebruikt als keermiddel. Eventueel kan de kering aan waterzijde verstevigd worden met zandzakken.

## ONTWERP EN CONSTRUCTIEVE AANDACHTSPUNTEN

Bij sommige systemen dient rekening gehouden te worden met de ondergrond. Deze dient geschikt te zijn voor de systemen, aangezien het mogelijk is dat systemen wegglijden en hun functionaliteit verliezen. Om afschuiving te voorkomen kan het nodig zijn het systeem te borgen door plaatsing tegen een opstaande rand (trottoirband).



## Overzichtstabel specifieke kenmerken:

Systeem	Water-Gate instant waterkering	Richardson flood control panel barriers	Rapidam	Portadam	Pallet barrier	Betonblokken
Max. lengte [m]	∞	∞	∞ (> 3,0 m)	∞	∞	∞
Keringhoogte [m]	2,0	1,5	1,0	2,5	1,8	0,55
Opzettijd 100 m x 1 m [uur] (handmatig)	0,5	< muur zandzakken	3,0	48 - 120	9	6
Mankracht 100 m x 1 m [pers.]	-	-	2	-	2	3 - 4
Materieel	-	-	Trolley/trailer	-	Trailer/ vrachtwagen	Oplegger, kraan
Opslagruimte [per 100 m]	3 rollen van +/- 1,2 x 0,65 (H x d)	= omvang kering	14 x 0,45 (LxH)	buiten	Houten kist (1,2 x 0,8 x 1,16 = 50 steunen)	Afhankelijk van formaat blok
Multi-functioneel ruimtegebrek	nvt	nvt	Nvt	nvt	Afhankelijk van bereikbaarheid	Afhankelijk van bereikbaarheid

BIJLAGE B

# BESCHRIJVING GEÏNVENTARISEERDE SYSTEMEN



BIJLAGE C

# ENQUÊTEFORMULIER



BIJLAGE D

# CASUSSEN

### *Algemeen*

Er zijn 2 locaties beschouwd; één op de Maas en één op de Waal.

Voor beide locaties is gekeken naar de personele inzet in de sluitingsfase bij gemiddeld beschikbare tijd, de beschikbare tijd in 5% van de voorkomende gevallen en de beschikbare tijd in 1% van de voorkomende gevallen. Er is daarnaast ook gekeken wat het effect is van het verhogen van het open keerpeil (OKP). Voor deze casussen is uitgegaan van een database met peilmetingen vanaf 1970.

### *Uitgangspunten*

In beide cases is uitgegaan van een kering van 500 m lengte, op te bouwen uit schotbalken. De kosten van alle fasen zijn voor dit systeem berekend met behulp van bijgevoegde spreadsheets. Daarbij is tevens een tool gebouwd voor het bepalen van de frequenties en kansen van het optreden van de peilen waarbij de diverse fasen starten en eindigen. Screenshots van deze tool zijn in deze bijlage bijgevoegd.

Indien voor een bepaalde locatie meerdere systemen in aanmerking zouden komen, kunnen de kosten van deze systemen naast elkaar gezet worden om tot een optimale keuze te kunnen komen.

Bij de organisatorische randvoorwaarden is als uitgangspunt genomen dat de kosten van de diverse fasen omgekeerd evenredig zijn met de lengte van de fasen: als de beschikbare tijdsduur halveert, zullen de kosten verdubbelen. In deze kostenposten zijn inzet van personeel en materieel verwerkt. In werkelijkheid zal deze relatie niet bestaan, maar deze is hier aangehouden omwille van de methodiek van deze tool. Een uitzondering hierop zijn de kosten van de waarschuwingfase: deze zijn niet afhankelijk van de lengte van de fase.

In de kostenafweging op basis van frequentie van inzet zijn de jaarlijks vaste kosten en variabele kosten weergegeven. De vaste kosten betreffen het volledig opzetten en weer afbreken van de gehele kering in het kader van een jaarlijkse training. De variabele kosten zijn de kosten die hier bovenop komen ten gevolge van werkelijk optredend hoogwater, uitgaande van de gemiddeld beschikbare tijd. Middels een gegeven afschrijvingsperiode en discontovoet zijn deze jaarlijkse kosten samen met de investeringskosten vertaald naar een netto contante waarde.

### *Investeringskosten*

De investeringskosten van de demontabele kering bij een verhoogd OKP zijn verhoudingsgewijs verlaagd: de te keren hoogte is afgenomen, zodat de investeringskosten ook afnemen.

### *Personele inzet*

Er is al aangegeven dat de kosten per fase omgekeerd evenredig zijn aangehouden met de lengte van de fase. Als echter in detail, voor één specifieke locatie gekeken wordt, kunnen echter wel conclusies getrokken worden over de benodigde personele inzet.

Voor de case bij de Waal kan worden geconcludeerd dat er bij een gemiddeld verloop van de hoogwater golf 2 personen nodig zijn om de kering te sluiten. De gemiddelde beschikbare tijd in de sluitingsfase is 37 uur, er kan in totaal met 4 ploegen van 2 man achter elkaar gewerkt worden (of tegelijkertijd, dat maakt in dit geval niet uit)

Voor de beschikbare tijd die in 5% resp. 1% van de gevallen voorkomt, wordt gewerkt met ploegen van 3 personen, omdat hier de beschikbare tijd korter is. Er is dus meer personele inzet nodig.

Als het OKP met 25 cm wordt verhoogd, zijn er 2 personen nodig voor de opbouw, ook bij de 5% en 1% voorkomende gevallen. Dit is het minimale aantal benodigde personen om de kering op te bouwen.

Bij de casus in Roermond zijn voor het opzetten van eenzelfde kering 3 personen nodig, 5 in geval van de 5% en 1% voorkomende gevallen.

Als het OKP wordt verhoogd met 25 cm, zijn er respectievelijk 2, 3 en 4 personen nodig.

Bij de Maas is het systeem dus gevoeliger voor veranderingen in het gekozen OKP.

#### *Materiële inzet*

De benodigde materiële inzet is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden: moeten delen van de kering van een opslaglocatie buiten de stad komen, of zijn deze al aanwezig op locatie, is de kerende hoogte zodanig dat er speciaal materieel moet worden gebruikt, is er voldoende ruimte om meerdere equipment sets tegelijkertijd te laten werken, enz.

Met dit model kan een optimum worden gevonden in de diverse peilen, waarbij de effectieve kosten worden geoptimaliseerd. Dit is een zeer locatiespecifieke taak die nu nog niet in dit model is verwerkt. In deze bijlage is met een getallenvoorbeeld het principe van de methode aangegeven.

#### *Conclusies*

Een verhoging van het OKP met 25 cm leidt met genoemde uitgangspunten tot een verlaging van de NCW van ca. € 80.000 in het geval van de Maascasus bij gemiddelde beschikbare tijd.

Een verhoging van het OKP met 50 cm leidt met genoemde uitgangspunten tot een verlaging van de NCW van bijna. € 980.000 in het geval van de Waalcasus bij gemiddelde beschikbare tijd.

In onderstaand overzicht wordt de NCW gepresenteerd voor de kosten bij voorkomende gemiddelde tijden, in 5% en in 1% van de gevallen, zowel voor de Maas als de Waal.

	Maas <sub>t,gem</sub>	Maas <sub>5%</sub>	Maas <sub>1%</sub>	Waal <sub>t,gem</sub>	Waal <sub>5%</sub>	Waal <sub>1%</sub>
NCW (€)	€ 1.832.625	€ 2.346.657	€ 3.244.874	€ 3.482.039	€ 4.721.748	€ 5.990.626

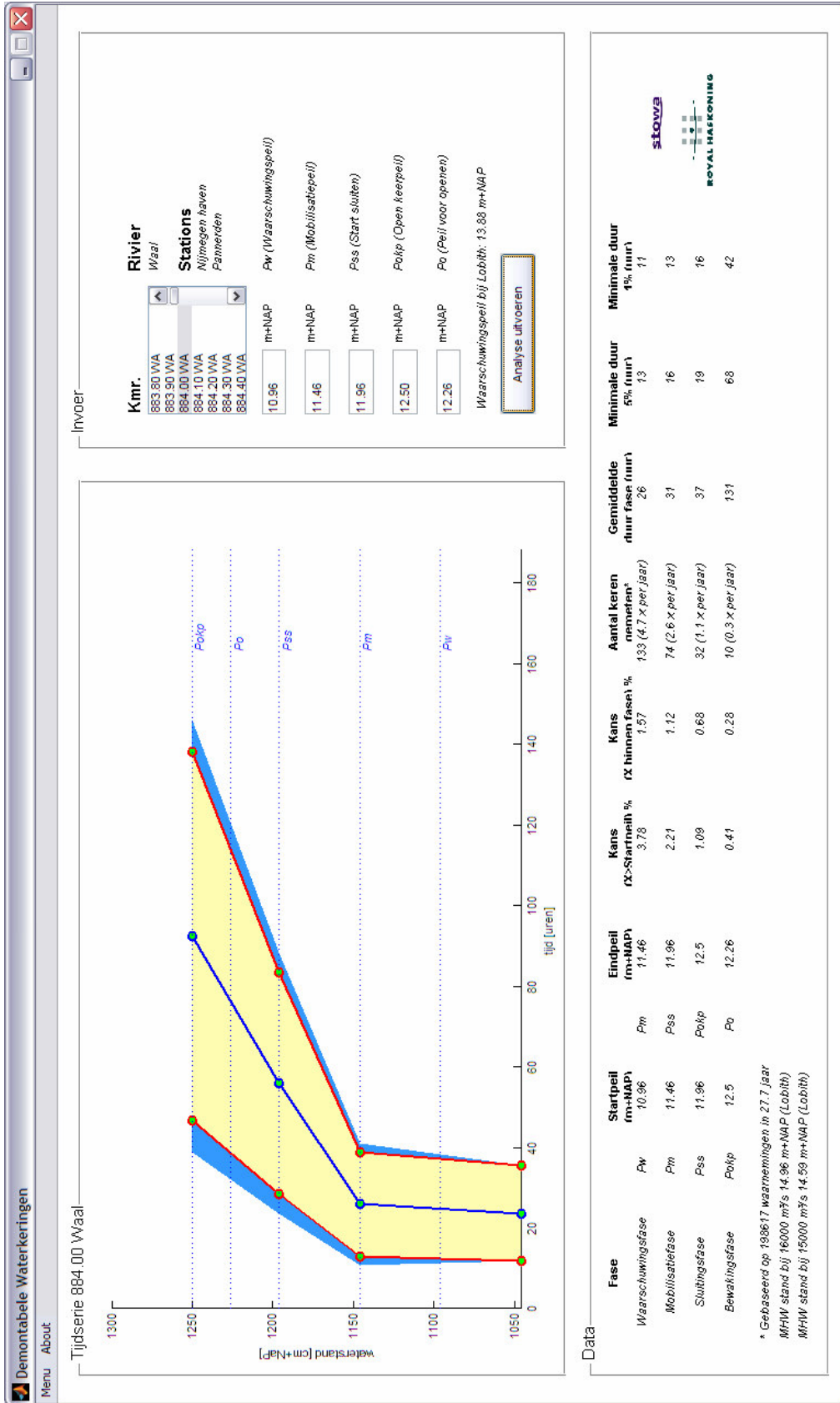
Uit dit overzicht wordt duidelijk dat er met aanzienlijk hogere kosten rekening gehouden moet worden door het leveren van een grotere inspanning om comfortabel binnen de 1% tijd de hele procedure te doorlopen. Dit betekent dus dat wanneer bij de keuze van een systeem uitgegaan wordt van de gemiddeld beschikbare tijd, er een kans is dat de organisatie niet in staat zal zijn om de hele sluitingsprocedure binnen de tijd te doorlopen. Er zijn in dat geval zeer waarschijnlijk te weinig mensen en/of materieel aanwezig waarbij er waarschijnlijk eveneens te weinig tijd is om ad hoc aanvullende maatregelen uit te voeren om de sluiting alsnog succesvol te laten verlopen.

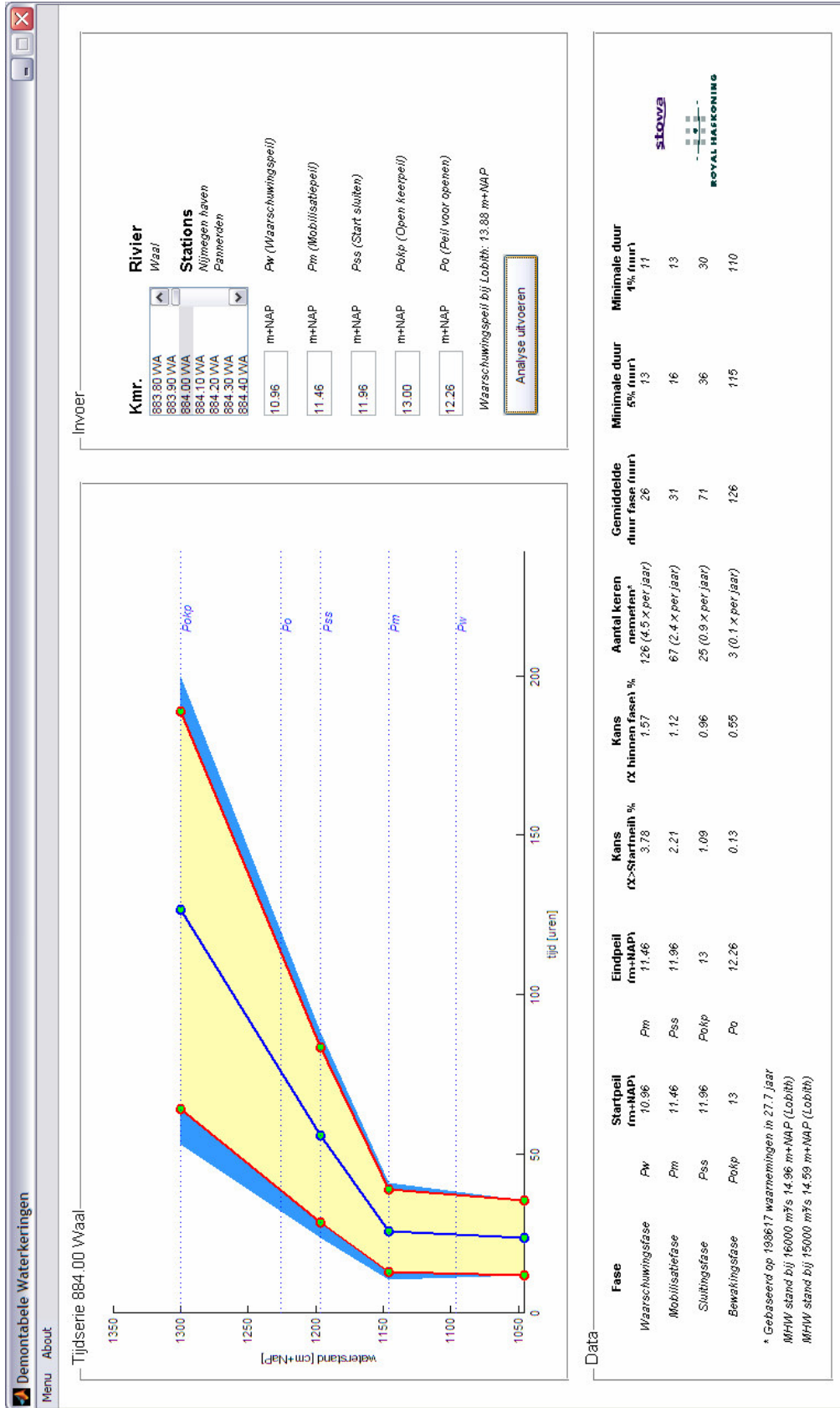


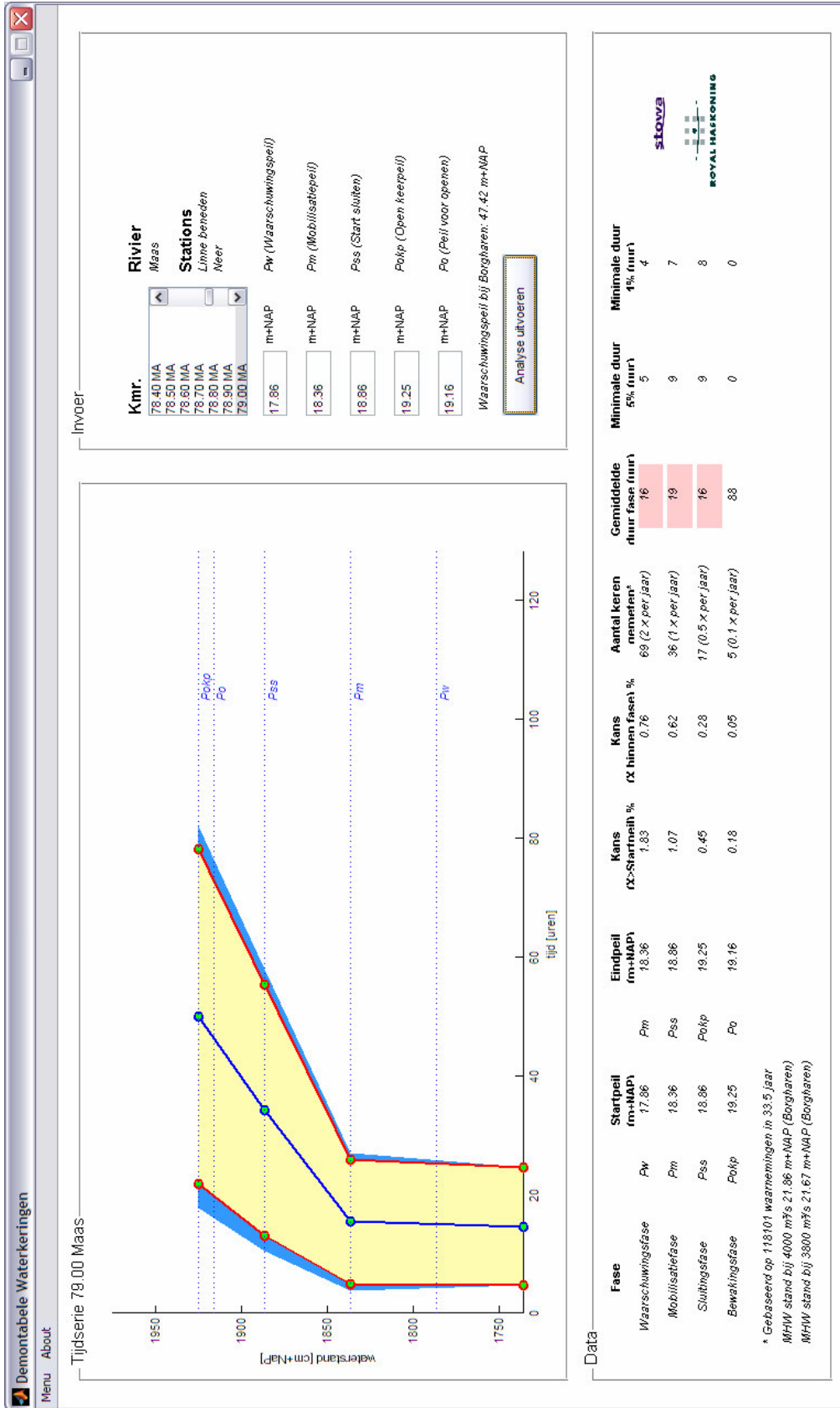
Daarentegen, indien de organisatie in staat is om (comfortabel) binnen de 1% overschreden beschikbare tijdsduur en indien bij de besluitvorming veiligheidsverhogende maatregelen integraal zijn meegenomen (zie bijlage F) dan is de kans dat ook inderdaad voldaan kan worden aan de norm veel groter. De kosten van een mobiele kering zijn in dit geval echter ook aanzienlijk hoger. Door deze procedures voor de verschillende systemen te doorlopen ontstaat een veel eenduidiger beeld ten aanzien van de systeeminherente verantwoordelijkheden waar een organisatie mee geconfronteerd wordt en kan een beter overwogen keuze gemaakt worden.

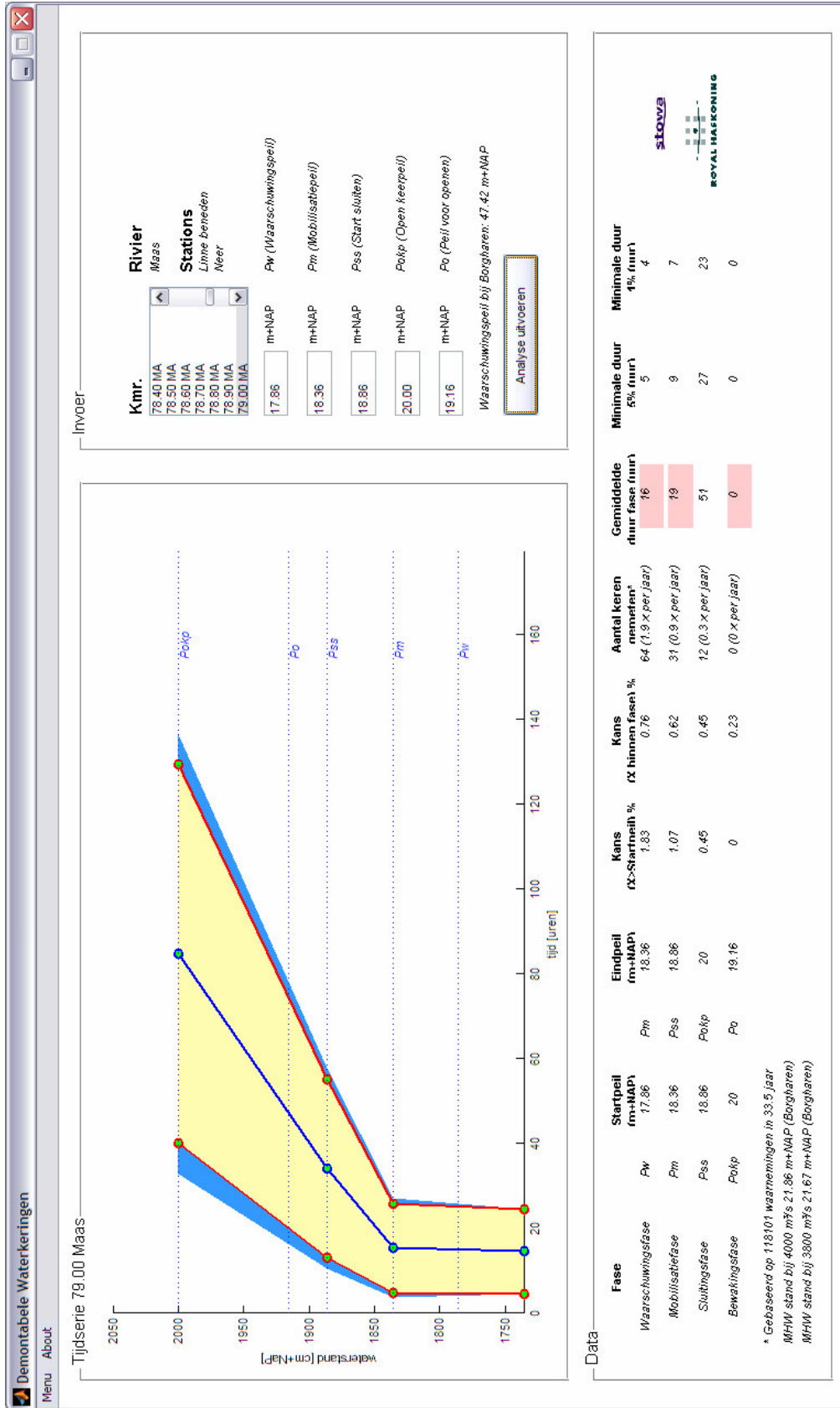
Zoals ook in het hoofdrapport aangegeven, betekent het comfortabel binnen de in 1% van de gevallen overschreden beschikbare tijdsduur kunnen opbouwen van de mobiele kering niet dat automatisch voldaan wordt aan de norm. Dit zal moeten blijken uit een gedetailleerd ontwerp. Wel is de kans zeer groot dat het gekozen alternatief ook daadwerkelijk de gewenste veiligheid kan leveren.

Het verdient de aanbeveling om de gevoeligheid te onderzoeken bij het maken van een keuze, dus zowel de tijdsduur die in 1% en 5% van de gevallen wordt overschreden of die gemiddeld voorkomt. Variëren van fasepeilen en het al dan niet aanpassen van het OKP maakt een verregaande optimalisatie mogelijk, niet alleen qua kosten, maar ook qua veiligheid.









## 1 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

CASUS 1

1 Externe randvoorwaarden

Locatie Waalbrug Nijmegen, KM 884,0

meetperiode [jr] 27,7

aard hoogwater	peil [m + NAP]	aantal keren gemeten	freq. van voorkomen [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt [1/jr]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt (%)
1 Waarschuwingsspeil (Pw)	10,96							
2 Mobilisatiepeil (Pm)	11,46							
3 Peil van start sluiten (Pss)	11,96							
4 OKP	12,50							
5 MHW	14,96							
6 Peil van openen kering (Pa)	12,26							
7 Waarschuwingsspeil		133	4,8	26	13	11	2,67	56
8 Mobilisatiefase		74	2,7	31	16	13	1,16	43
9 Sluitingsfase		32	1,2	37	19	16	0,36	31
10 Kerende fase		10	0,4	131	68	42	0,36	100
11 afbouw fase (demobilisatie)		10	0,4	-	-	-	-	-

2 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN		CASUS 1						
Locatiegebonden randvoorwaarden		D1: schotbalksysteem	D2: opklap-systeem	D3: schuifstelsysteem	D4: draaideur systeem	T1: vulcontainers gevuld met water of lucht	T2: systeem gevuld met water of lucht	T3: vrijstaand keermiddel
<b>Geometrie</b>								
Open Keer Peil (OKP)	12,50	[m+NAP]						
MHW	14,96	[m+NAP]						
1 Te keren hoogte	2,46	[m]						
2 Te keren lengte	500	[m]						
<b>Lokale omstandigheden</b>								
3 Stabiliteit ondergrond gewaarborgd?	nee							
4 Bochten mogelijk?	ja							
5 Stedelijke inpassing?	ja							
<b>Keuze op basis van locatiegebonden randvoorwaarden</b>								
		v						

### 3 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Organisatorische randvoorwaarden

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	kosten per fase	
							D1: schotbalk systeem	
<b>KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET</b>								
0	Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)							€ 100.000
1	10,96	4,8	2,67	26	13	11	€ 5.000	
	kosten per jaar							€ 24.007
	effectieve kosten per jaar							€ 13.357
2	11,46	2,7	1,16	31	16	13	€ 12.500	
	kosten per jaar, tgem							€ 33.394
	kosten per jaar, t5%							€ 64.700
	kosten per jaar, t1%							€ 79.631
	effectieve kosten per jaar, tgem							€ 14.440
3	11,96	1,2	0,36	37	19	16	€ 50.000	
	kosten per jaar							€ 57.762
	kosten per jaar, t5%							€ 112.483
	kosten per jaar, t1%							€ 133.574
	effectieve kosten per jaar, tgem							€ 18.051
4	12,50	0,4	0,36	131	68	42	€ 25.000	
	kosten per jaar							€ 9.025
	kosten per jaar, t5%							€ 17.387
	kosten per jaar, t1%							€ 77.976
	Afbouw / demobilisatie fase							€ 32.908



**4 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN**

Inzet van middelen

kosten per fase  
D1:  
schotbalksysteem**1 Waarschuwingsfase**

Geautomatiseerd alarmeringssysteem

**2 Mobilisatiefase**benodigd personeel per 100 m  
tpv opslag  
tpv locatie keringbenodigd materieel per 100 m  
tpv opslag  
tpv locatie kering**3 Sluitingsfase****kentallen:**

3.1	benodigd personeel voor 100 m1	[-]		2
3.2	tijd benodigd voor 100 m1	[uren]		4
3.3	beschikbare tijd (gem)		37 [uren]	
3.4	beschikbare tijd 5%		19 [uren]	
3.5	beschikbare tijd 1%		16 [uren]	
3.6	maximaal aantal werkuren p.p.		10 [uren]	
	<b>te realiseren lengte</b>		500 [m]	
	benodigde tijd (o.b.v. 3.2)	[manuren]		40
	benodigd personeel (o.b.v. 3.3)	[-]		2
	benodigd personeel (o.b.v. 3.4)	[-]		3
	benodigd personeel (o.b.v.3.5)	[-]		3

**4 Bewakingsfase**

inzet materieel

inzet personeel

**5 Afbouwfase (demobilisatie)**

idem als mobilisatie en opbouw fasen

**5 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN**

Afwegingen

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% beschikbare tijd voor fase [uren]	1% beschikbare tijd voor fase [uren]	D1: schotbalksysteem
--	----------------	-------------------------------	--	--	--	--	-------------------------

**KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET**

tgem

0 Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)							€ 100.000
1 Waarschuwingsfase	10,96	4,8	2,67	26	13	11	€ 5.000
kosten per jaar							€ 24.007
effectieve kosten per jaar							€ 13.357
2 Mobilisatiefase	11,46	2,7	1,16	31	16	13	€ 12.500
kosten per jaar, tgem							€ 33.394
kosten per jaar, t5%							€ 64.700
kosten per jaar, t1%							€ 79.631
effectieve kosten per jaar, tgem							€ 14.440
3 Sluitfase	11,96	1,2	0,36	37	19	16	€ 50.000
kosten per jaar							€ 57.762
kosten per jaar, t5%							€ 112.483
kosten per jaar, t1%							€ 133.574
effectieve kosten per jaar, tgem							€ 18.051
4 Bewakingsfase / kerende fase	12,50	0,4	0,36	131	68	42	€ 25.000
kosten per jaar							€ 9.025
kosten per jaar, t5%							€ 17.387
kosten per jaar, t1%							€ 77.976
Afbouw / demobilisatie fase	12,26	0,4	-	-	-	-	€ 32.908

**KOSTENAFWEGING OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET**

investeringskosten							€ 100.000
jaarlijks vaste kosten							€ 100.408
jaarlijks variabele kosten, tgem							€ 157.096
afschrijvingsperiode	20 jaar						
discontovoet	4%						

**EFFECTIVITEITSRATIO**

Waarschuwingsfase		56%		€ 10.650
Mobilisatiefase		43%		€ 18.953
Sluitfase		31%		€ 39.711
<b>Totale effectiviteitsindex</b>		<b>8%</b>		
			in kosten per jaar:	€ 69.314
			gekapitaliseerd:	€ 1.010.367

<b>1</b>	<b>KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN</b>	<b>CASUS 1</b>
----------	---	----------------

Externe randvoorwaarden

Locatie Waalbrug Nijmegen, KM 884,0

meetperiode [jr] 27,7

<b>aard hoogwater</b>	peil [m + NAP]	aantal keren gemeten	freq. van voorkomen [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt [1/jr]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt (%)
1 Waarschuwingsspeil (Pw)	10,96							
3 Peil van start sluiten (Pss)	11,96							
4 OKP	13,00							
5 MHW	14,96							
6 Peil van openen kering (Pa)	12,26							
7 Waarschuwingssfase		126	4,5	26	13	11	2,42	53
8 Mobilisatiefase		67	2,4	31	16	13	0,90	37
9 Sluitingsfase		25	0,9	71	36	30	0,11	12
10 Kerende fase		3	0,1	126	115	110	0,11	100
11 afbouw fase (demobilisatie)		3	0,1	-	-	-	-	-

2 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN			CASUS 1						
Locatiegebonden randvoorwaarden			D1: schotbalksysteem	D2: opklapsysteem	D3: schuifsysteem	D4: draaideur systeem	T1: vulcontainers	T2: systeem gevuld met water of lucht	T3: vrijstaand keermiddel
<b>Geometrie</b>									
Open Keer Peil (OKP)	13,00	[m+NAP]							
MHW	14,96	[m+NAP]							
1 Te keren hoogte	1,96	[m]							
2 Te keren lengte	500	[m]							
<b>Lokale omstandigheden</b>									
3 Stabiliteit ondergrond gewaarborgd?	nee								
4 Bochten mogelijk?	ja								
5 Stedelijke inpassing?	ja								
<b>Keuze op basis van locatiegebonden randvoorwaarden</b>									

### 3 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Organisatorische randvoorwaarden

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	kosten per fase	
<b>KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET</b>								
0	Investeringskosten (incl. aanschaf risicotempererende middelen)							€ 80.000
1	10,96	4,5	2,42	26	13	11	€ 5.000 € 22.744 € 12.094	
1 Waarschuwingsfase kosten per jaar effectieve kosten per jaar								
2	#REF!	2,4	0,90	31	16	13	€ 12.500 € 30.235 € 58.580 € 72.098 € 11.282	
2 Mobilisatiefase kosten per jaar, tgem kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem								
3	11,96	0,9	0,11	71	36	30	€ 50.000 € 45.126 € 88.999 € 106.799 € 5.415	
3 Sluitfase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem								
4	13,00	0,1	0,11	126	115	110	€ 25.000 € 2.708 € 2.967 € 28.636	
4 Bewakingsfase / kerende fase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1%								
	12,26	0,1	-	-	-	-	€ 8.162	
Afbouw / demobilisatie fase								

#### 4 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Inzet van middelen

kosten per fase  
D1:  
schotbalksysteem

##### 1 Waarschuwingfase

Geautomatiseerd alarmeringssysteem

##### 2 Mobilisatiefase

benodigd personeel per 100 m  
tpv opslag  
tpv locatie kering

benodigd materieel per 100 m  
tpv opslag  
tpv locatie kering

##### 3 Sluitingsfase

**kentallen:**

3.1	benodigd personeel voor 100 m1			
3.2	tijd benodigd voor 100 m1	[-]		
3.3	beschikbare tijd (gem)		71 [uren]	2
3.4	beschikbare tijd 5%		36 [uren]	4
3.5	beschikbare tijd 1%		30 [uren]	
3.6	maximaal aantal werkuren p.p.		10 [uren]	

**te realiseren lengte**

benodigd personeel (o.b.v. 3.4)

500 [m]

[-]

#REF!

##### 4 Bewakingsfase

inzet materieel

inzet personeel

##### 5 Afbouwfase (demobilisatie)

idem als mobilisatie en opbouw fasen

## 5 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Afwegingen

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1./jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1./jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% beschikbare tijd voor fase [uren]	1% beschikbare tijd voor fase [uren]	kosten per fase D1: schootbalksysteem
<b>0 Investeringskosten (incl. aanschaf risicotijgerende middelen)</b>							€ 80.000
1 Waarschuwingfase kosten per jaar	10,96	4,5	2,42	26	13	11	€ 5.000 € 22.744 € 12.094
effectieve kosten per jaar							
2 Mobilisatiefase kosten per jaar, tgem	#REF!	2,4	0,90	31	16	13	€ 12.500 € 30.235 € 58.580 € 72.098 € 11.282
kosten per jaar, t5%							
kosten per jaar, t1%							
effectieve kosten per jaar, tgem							
3 Sluitfase kosten per jaar	11,96	0,9	0,11	71	36	30	€ 50.000 € 45.126 € 88.999 € 106.799 € 5.415
kosten per jaar, t5%							
kosten per jaar, t1%							
effectieve kosten per jaar, tgem							
4 Bewakingsfase / kerende fase kosten per jaar	13,00	0,1	0,11	126	115	110	€ 25.000 € 2.708 € 2.967 € 28.636
kosten per jaar, t5%							
kosten per jaar, t1%							
Afbouw / demobilisatie fase	12,26	0,1	-	-	-	-	€ 8.162

### KOSTENAFWEGING OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET

investeringskosten	€ 80.000
jaarlijks vaste kosten	€ 75.662
jaarlijks variabele kosten, tgem	€ 108.974

afschrijvingsperiode  
discontovoet 20 jaar  
4%

Netto Contante Waarde (NCW)

€ 2.504.997

### EFFECTIVITEITSRATIO

Waarschuwingfase	53%	€ 10.650
Mobilisatiefase	37%	€ 18.953
Sluitfase	12%	€ 39.711

Totale effectiviteitsindex

2% in kosten per jaar:  
gekapitaliseerd: € 69.314  
€ 990.367

1 <b>KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN</b>		CASUS 1				
<b>Externe randvoorwaarden</b>						
	Locatie Roermond, KM 79,0	33,5				
	meetperiode [jr]					
1	WaarschuwingSpeil (Pw)	17,86				1,1
3	Peil van start sluiten (Pss)	18,86				0,5
4	OKP	19,25				0,1
5	MHW	21,86				0,1
6	Peil van openen kering (Pa)	19,16				
7	Waarschuwingfase	69	2,1	16	5	4
8	Mobilisatiefase	36	1,1	19	9	7
9	Sluitingsfase	17	0,5	16	9	8
10	Kerende fase	5	0,1	88	40	35
11	afbouw fase (demobilisatie)	5	0,1	-	-	-



**2 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN** CASUS 1

Locatiegebonden randvoorwaarden

Geometrie		D1: schotbalksysteem	D2: opklap-systeem	D3: schuifstelsysteem	D4: draaideur systeem	T1: vulcontainers of lucht	T2: systeem gevuld met water of lucht	T3: vrijstaand keermiddel
MHW	21,86 [m+NAP]							
1 Te keren hoogte	#REF!							
2 Te keren lengte	500 [m]							
<b>Lokale omstandigheden</b>								
3 Stabiliteit ondergrond gewaarborgd?	nee							
4 Bochten mogelijk?	ja							
5 Stedelijke inpassing?	ja							

### 3 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

#### Organisatorische randvoorwaarden

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	kosten per fase	
							D1: schotbalk systeem	
<b>KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET</b>								
0	Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)							€ 100.000
1	17,86	2,1	1,07	16	5	4	€ 5.000	
							€ 10.299	
							€ 5.373	
2	#REF!	1,1	0,51	19	9	7	€ 12.500	
							€ 13.433	
							€ 28.358	
							€ 36.461	
3	18,86	0,5	0,15	26	13	11	€ 50.000	
							€ 25.373	
							€ 50.746	
							€ 59.973	
							€ 7.463	
4	19,25	0,1	0,15	88	40	35	€ 25.000	
							€ 3.731	
							€ 8.209	
							€ 62.857	
5	19,16	0,1	-	-	-	-	€ 9.328	
							€ 76.828	

## KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

4

### Inzet van middelen

kosten per fase  
D1:  
schotbalksysteem

#### 1 Waarschuwingfase

Geautomatiseerd alarmeringssysteem

#### 2 Mobilisatiefase

benodigd personeel per 100 m

tpv opslag

tpv locatie kering

benodigd materieel per 100 m

tpv opslag

tpv locatie kering

#### 3 Sluitingsfase

kentallen:

3.1	benodigd personeel voor 100 m1	[-]		2
3.2	tijd benodigd voor 100 m1	[uren]		4
3.3	beschikbare tijd (gem)		16 [uren]	
3.4	beschikbare tijd 5%		9 [uren]	
3.5	beschikbare tijd 1%		8 [uren]	
3.6	maximaal aantal werkuren p.p.		10 [uren]	

te realiseren lengte

5	benodigde tijd (o.b.v. 3.2)	[manuren]	500 [m]	40
	benodigd personeel (o.b.v. 3.3)	[-]		3
	benodigd personeel (o.b.v. 3.4)	[-]		5
	benodigd personeel (o.b.v.3.5)	[-]		5

#### 4 Bewakingsfase

inzet materieel

inzet personeel

#### 5 Afbouwfase (demobilisatie)

idem als mobilisatie en opbouw fasen

## 5 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

### Afwegingen

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% beschikbare tijd voor fase [uren]	1% beschikbare tijd voor fase [uren]	kosten per fase D1: schotbalksysteem
<b>KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET</b>							
0 Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)							€ 100.000
1 Waarschuwingsfase kosten per jaar effectieve kosten per jaar	17,86	2,1	1,07	16	5	4	€ 5.000 € 10.299 € 5.373
2 Mobilisatiefase kosten per jaar, tgem kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem	#REF!	1,1	0,51	19	9	7	€ 12.500 € 13.433 € 28.358 € 36.461
3 Sluitfase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem	18,86	0,5	0,15	26	13	11	€ 50.000 € 25.373 € 50.746 € 59.973 € 7.463
4 Bewakingsfase / kerende fase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1%	19,25	0,1	0,15	88	40	35	€ 25.000 € 3.731 € 8.209 € 62.857
5 Afbouw / demobilisatie fase	19,16	0,1	-	-	-	-	€ 9.328

### KOSTENAFWEGING OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET

jaarlijks vaste kosten							€ 76.828
jaarlijks variabele kosten, tgem							€ 86.588
afschrijvingsperiode discontovoet	20 jaar 4%						
<b>Netto Contante Waarde (NCW)</b>							€ 2.246.307
<b>EFFECTIVITEITSRATIO</b>							
Waarschuwingsfase			52%				€ 4.925
Mobilisatiefase			47%				€ 13.433
Sluitfase			29%				-€ 50.746
<b>Totale effectiviteitsindex</b>			7%			in kosten per jaar: gekapitaliseerd:	-€ 32.388 -€ 325.383

KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN											CASUS 1	
1	Externe randvoorwaarden											
	Locatie Roermond, KM 79,0											
	meetperiode [jr]	33,5										
	<b>aard hoogwater</b>	peil [m + NAP]	aantal keren gemeten	freq. van voorkomen [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt [1/jr]	aantal keer dat volgende fase wordt bereikt (%)			
1	Waarschuwing speil (Pw)	17,86										
3	Peil van start sluiten (Pss)	18,86										
4	OKP	19,50										
5	MHW	21,86										
6	Peil van openen kering (Pa)	19,16										
7	Waarschuwing fase		68	2,0		16	5	4	1,0	51		
8	Mobilisatiefase		35	1,0		19	9	7	0,5	46		
9	Sluitingsfase		16	0,5		27	15	13	0,1	25		
10	Kerende fase		4	0,1		70	32	30	0,1	100		
11	afbouw fase (demobilisatie)		4	0,1		-	-	-	-	-		

**2 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN** CASUS 1  
 Locatiegebonden randvoorwaarden

<b>Geometrie</b>		D1: schotbalksysteem	D2: opklap-systeem	D3: schuifstelsysteem	D4: draaideur systeem	T1: vulcontainers	T2: systeem gevuld met water of lucht	T3: vrijstaand keermiddel
Open Keer Peil (OKP)	19,50 [m+NAP]							
MHW	21,86 [m+NAP]							
1 Te keren hoogte	2,36 [m]							
2 Te keren lengte	500 [m]							
<b>Lokale omstandigheden</b>								
3 Stabiliteit ondergrond gewaarborgd?	nee							
4 Bochten mogelijk?	ja							
5 Stedelijke inpassing?	ja							
<b>Keuze op basis van locatiegebonden randvoorwaarden</b>		v						

### 3 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Organisatorische randvoorwaarden

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% tijd voor fase [uren]	1% tijd voor fase [uren]	kosten per fase
							D1: schotbalk systeem

#### KOSTENOVERZICHT OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET

0	Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)						€ 90.000
1	Waarschuwingfase kosten per jaar effectieve kosten per jaar	17,86	2,0	1,04	16	5	€ 5.000 € 10.149 € 5.224
2	Mobilisatiefase kosten per jaar, tgem kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem	#REF!	1,0	0,48	19	9	€ 12.500 € 13.060 € 27.570 € 35.448 € 5.970
3	Sluiffase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1% effectieve kosten per jaar, tgem	18,86	0,5	0,12	27	15	€ 50.000 € 23.881 € 42.985 € 49.598 € 5.970
4	Bewakingsfase / kerende fase kosten per jaar kosten per jaar, t5% kosten per jaar, t1%	19,50	0,1	0,12	70	32	€ 25.000 € 2.985 € 6.530 € 58.333
	Afbouw / demobilisatie fase	19,16	0,1	-	-	-	€ 4.411

**4 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN**

Inzet van middelen

kosten per fase  
D1:  
schotbalksysteem**1 Waarschuwingfase**

Geautomatiseerd alarmeringssysteem

**2 Mobilisatiefase**

benodigd personeel per 100 m

tpv opslag

tpv locatie kering

benodigd materieel per 100 m

tpv opslag

tpv locatie kering

**3 Sluitingsfase****kentallen:**

3.1 benodigd personeel voor 100 m1

[-]

3.2 tijd benodigd voor 100 m1

[uren]

3.3 beschikbare tijd (gem)

27 [uren]

3.4 beschikbare tijd 5%

15 [uren]

3.5 beschikbare tijd 1%

13 [uren]

3.6 maximaal aantal werkuren p.p.

10 [uren]

**te realiseren lengte**

benodigd personeel (o.b.v. 3.4)

[-]

500 [m]

#REF!

**4 Bewakingsfase**

inzet materieel

inzet personeel

**5 Afbouwfase (demobilisatie)**

idem als mobilisatie en opbouw fasen



## 5 KEUZEMODEL TIJDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN

Afwegingen

	peil [m + NAP]	freq. van voorkomen [1/jr]	freq. dat volgende peil bereikt wordt [1/jr]	gem. beschikbare tijd voor fase [uren]	5% beschikbare tijd voor fase [uren]	1% beschikbare tijd voor fase [uren]	kosten per fase
							D1: schotbalksysteem
<b>0 Investeringskosten (incl. aanschaf risicomitigerende middelen)</b>							€ 90.000
1 Waarschuwingfase	17,86	2,0	1,04	16	5	4	€ 5.000
kosten per jaar							€ 10.149
effectieve kosten per jaar							€ 5.224
2 Mobilisatiefase	#REF!	1,0	0,48	19	9	7	€ 12.500
kosten per jaar, tgem							€ 13.060
kosten per jaar, t5%							€ 27.570
kosten per jaar, t1%							€ 35.448
effectieve kosten per jaar, tgem							€ 5.970
3 Sluitfase	18,86	0,5	0,12	27	15	13	€ 50.000
kosten per jaar							€ 23.881
kosten per jaar, t5%							€ 42.985
kosten per jaar, t1%							€ 49.598
effectieve kosten per jaar, tgem							€ 5.970
4 Bewakingsfase / kerende fase	19,50	0,1	0,12	70	32	30	€ 25.000
kosten per jaar							€ 2.985
kosten per jaar, t5%							€ 6.530
kosten per jaar, t1%							€ 58.333
Afbouw / demobilisatie fase	19,16	0,1	-	-	-	-	€ 4.411

### KOSTENAFWEGING OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET

investeringskosten	€ 90.000
jaarlijks vaste kosten	€ 71.911
jaarlijks variabele kosten, tgem	€ 54.485
afschrijvingsperiode	20 jaar
discontovoet	4%

### Netto Contante Waarde (NCW)

€ 1.750.080

### EFFECTIVITEITSRATIO

Waarschuwingfase	51%	€ 4.925
Mobilisatiefase	46%	€ 7.090
Sluitfase	25%	€ 17.910

### Totale effectiviteitsindex

in kosten per jaar:  
€ 29.925  
gekapitaliseerd:  
€ 483.038

**KEUZEMODEL TIJDDELIJKE EN DEMONTABELE WATERKERINGEN**

Afwegingen

	kosten per fase Waal Casus			kosten per fase Maas Casus		
	OKP	verhoogd OKP	verschil	OKP	verhoogd OKP	verschil
0 Investeringskosten (incl. aanschaf risicomittig)	€ 100.000	€ 80.000	-€ 20.000	€ 100.000	€ 90.000	-€ 10.000
1 Waarschuwingfase						
kosten per jaar	€ 5.000	€ 5.000	€ 0	€ 5.000	€ 5.000	€ 0
effectieve kosten per jaar	€ 24.007	€ 22.744	-€ 1.264	€ 10.299	€ 10.149	-€ 149
	€ 13.357	€ 12.094	-€ 1.264	€ 5.373	€ 5.224	-€ 149
2 Mobilisatiefase						
kosten per jaar, tgem	€ 12.500	€ 12.500	€ 0	€ 12.500	€ 12.500	€ 0
kosten per jaar, t5%	€ 33.394	€ 30.235	-€ 3.159	€ 13.433	€ 13.060	-€ 373
kosten per jaar, t1%	€ 64.700	€ 58.580	-€ 6.120	€ 28.358	€ 27.570	-€ 788
effectieve kosten per jaar, tgem	€ 79.631	€ 72.098	-€ 7.533	€ 36.461	€ 35.448	-€ 1.013
	€ 14.440	€ 11.282	-€ 3.159	€ 6.343	€ 5.970	-€ 373
3 Sluitfase						
kosten per jaar	€ 50.000	€ 50.000	€ 0	€ 50.000	€ 50.000	€ 0
kosten per jaar, t5%	€ 57.762	€ 45.126	-€ 12.635	€ 25.373	€ 23.881	-€ 1.493
kosten per jaar, t1%	€ 112.483	€ 88.999	-€ 23.484	€ 45.108	€ 42.985	-€ 2.123
effectieve kosten per jaar, tgem	€ 133.574	€ 106.799	-€ 26.775	€ 50.746	€ 49.598	-€ 1.148
	€ 18.051	€ 5.415	-€ 12.635	€ 7.463	€ 5.970	-€ 1.493
4 Bewakingsfase / kerende fase						
kosten per jaar	€ 25.000	€ 25.000	€ 0	€ 25.000	€ 25.000	€ 0
kosten per jaar, t5%	€ 9.025	€ 2.708	-€ 6.318	€ 3.731	€ 2.985	-€ 746
kosten per jaar, t1%	€ 17.387	€ 2.967	-€ 14.420	€ 8.209	€ 6.530	-€ 1.679
effectieve kosten per jaar, tgem	€ 77.976	€ 28.636	-€ 49.340	€ 62.857	€ 58.333	-€ 4.524
Albouw / demobilisatie fase						
	€ 32.908	€ 8.162	-€ 24.746	€ 5.792	€ 4.411	-€ 1.381

**KOSTENAFWEGING OP BASIS VAN FREQUENTIE VAN INZET**

investeringskosten	€ 100.000	€ 80.000	-€ 20.000	€ 100.000	€ 90.000	-€ 10.000
jaarlijks vaste kosten	€ 100.408	€ 75.662	-€ 24.746	€ 73.292	€ 71.911	-€ 1.381
jaarlijks variabele kosten, tgem	€ 157.096	€ 108.974	-€ 48.122	€ 58.628	€ 54.485	-€ 4.142
afschrijvingsperiode						
discontovoet						
<b>Netto Contante Waarde (NCW)</b>	€ 3.482.039	€ 2.504.997	-€ 977.042	€ 1.832.625	€ 1.750.080	-€ 82.545



BIJLAGE E

# BESCHRIJVING EN CD TIJDSVERLOOP



# **Statistisch hulpmiddel voor het vaststellen van ontwerpcondities/keuzecondities voor mobiele keringen**

Handleiding

9T4040.A0  
Definitief rapport  
14 oktober 2008





**HASKONING NEDERLAND B.V.**  
**KUST & RIVIEREN**

Barbarossastraat 35  
 Postbus 151  
 6500 AD Nijmegen  
 (024) 328 42 84 Telefoon  
 (024) 360 54 83 Fax  
 info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail  
 www.royalhaskoning.com Internet  
 Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel	Statistisch hulpmiddel voor het vaststellen van ontwerpcondities/keuzecondities voor mobiele keringen
	Handleiding
Verkorte documenttitel	Handleiding statistische tool waterkeringen
Status	Definitief rapport
Datum	14 oktober 2008
Projectnaam	Statistisch hulpmiddel voor het vaststellen van ontwerpcondities/keuzecondities voor mobiele keringen
Projectnummer	9T4040.A0
Opdrachtgever	STOWA
Referentie	9T4040.A0/R0002/419740/MJANS/Nijm

Auteur(s)	Ir. O. (Olaf) Scholl
Collegiale toets	M. A. (Michel) van Heereveld
Datum/paraaf	14 oktober 2008
Vrijgegeven door	Ir. O. (Olaf) Scholl
Datum/paraaf	14 oktober 2008

**INHOUDSOPGAVE**

		Blz.
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Aanpak	2
	1.3 Opzet van de toepassing	3
	1.4 Installatie van de toepassing	4
2	VASTSTELLEN VAN DE PARAMETERS	5
	2.1 Bepaling van frequenties in percentages	5
	2.2 Bepaling van perioden	5
	2.3 Interpolatie tussen meetstations	8
	2.4 Menuopties	13



## 1 INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Uit de studie 'Keuzemodel Tijdelijke en Demontabele Waterkeringen' is gebleken dat met name het inzicht hebben in de beschikbare tijd, bepalend is voor het al dan niet geschikt zijn van een bepaald systeem voor mobiele keringen. Dit heeft geleid tot de aanbeveling dat een beheerder in staat moet zijn om de mobiele kering comfortabel binnen de tijd te sluiten. Als praktische maat hiervoor wordt de 5 procent en 1 procent overschrijdingwaarde van de tijd genomen en niet de gemiddelde tijd omdat die doorgaans een te optimistisch beeld geeft van de omstandigheden.

Om inzicht te krijgen in de beschikbare tijd voor de verschillende fasen van het opzetten van een mobiele kering is een hulpmiddel ontwikkeld. Dit hulpmiddel rekent op basis van een gegeven Open Keer Peil ( $P_{okp}$ ), waarschuwingspeil ( $P_w$ ), mobilisatiepeil ( $P_m$ ) en een peil waarbij het feitelijke sluiten start ( $P_{ss}$ ) uit, hoeveel tijd er per fase gemiddeld beschikbaar is voor het doorlopen van respectievelijke fasen. Daarnaast wordt ook aangegeven wat de beschikbare tijd is die in 5 procent van de gevallen wordt overschreden en de beschikbare tijd die in 1 procent van de gevallen wordt overschreden en wordt de maximale duur van de hoogwatergolf tussen OKP en het peil waarbij de kering wordt geopend ( $P_o$ ) gegeven.

Verder geeft het hulpmiddel inzicht in de frequentie van optreden van de verschillende peilen. Dit is van belang om een economische afweging te kunnen maken (zie rapport 'Keuzemodel Tijdelijke en Demontabele Waterkeringen') en om te kunnen zien hoe vaak het overschrijden van een peil ook daadwerkelijk geleid heeft tot het optreden van het daaropvolgende peil.

De gebruiker kan door te variëren met de verschillende peilen, bepalen hoeveel tijd hij beschikbaar heeft per fase en op basis daarvan bepalen op welke wijze hij de verschillende fasen inricht.

Voor de mobilisatiefase kan hij bijvoorbeeld inzicht krijgen of het, gegeven de noodzakelijke handelingen / complexiteit van het mobiliseren, zinvol is om de mobiele kering lokaal of op afstand op te slaan. Voor de sluitingsfase verwerft hij onder meer het inzicht of het mogelijk is om met het bestaande OKP een mobiele kering comfortabel te sluiten of dat het beter is om het OKP te verhogen. De met het hulpmiddel afgeleide peilen kunnen vervolgens worden gebruikt in het draaiboek.

Het hulpmiddel maakt gebruik van opgetreden waterstanden zoals die zijn vastgelegd in de database van Rijkswaterstaat ([www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl)). Voor locaties waar geen meetstation is, zal geïnterpoleerd worden tussen de twee dichtstbijzijnde meetstations, boven- en benedenstrooms van de locatie waar de kering moet worden opgebouwd. Gebruik wordt gemaakt van de metingen vanaf 1975 tot de meest recente gegevens in 2008.

Het hulpmiddel is een als één scherm opgemaakte zelfstandige toepassing, waarin de invoer en uitvoer wordt weergegeven. Deze toepassing draait onder Windows.

## 1.2 Aanpak

Het hulpmiddel is geprogrammeerd met behulp van het programma Matlab. Met het hulpmiddel kunnen voor iedere plaats (hectometer) langs de bovenrivieren de relevante gegevens worden verkregen die belangrijk zijn bij de toepassing van mobiele keringen. Hiertoe worden de volgende vijf op te geven parameters onderscheiden:

- $P_w$ : Waarschuwingsspeil [m]. Dit is het peil waarbij de waterstand aanleiding geeft voor het opstarten van de procedure. Dit peil is gekoppeld aan de waterstand en afvoer te Lobith.
- $P_m$ : Mobilisatiepeil [m]. Dit is het peil waarbij de mobilisatie van het benodigde materieel wordt opgestart.
- $P_{ss}$ : Peil voor start sluiten [m]. Bij dit peil wordt de kering opgebouwd met het inmiddels aanwezige materieel.
- $P_{okp}$ : Open keerpeil [m]. Dit peil geeft aan wat het te keren peil wordt, dit komt overeen met de lokale maaiveldhoogte.
- $P_o$ : Open peil [m]. Dit is het peil waarbij de kering zijn functie verliest na het passeren van de hoogwatergolf.

Aan de hand van de database met gegevens vanaf 1975<sup>1</sup> en de op te geven peilen wordt een frequentieanalyse uitgevoerd die antwoord geeft op de volgende vragen:

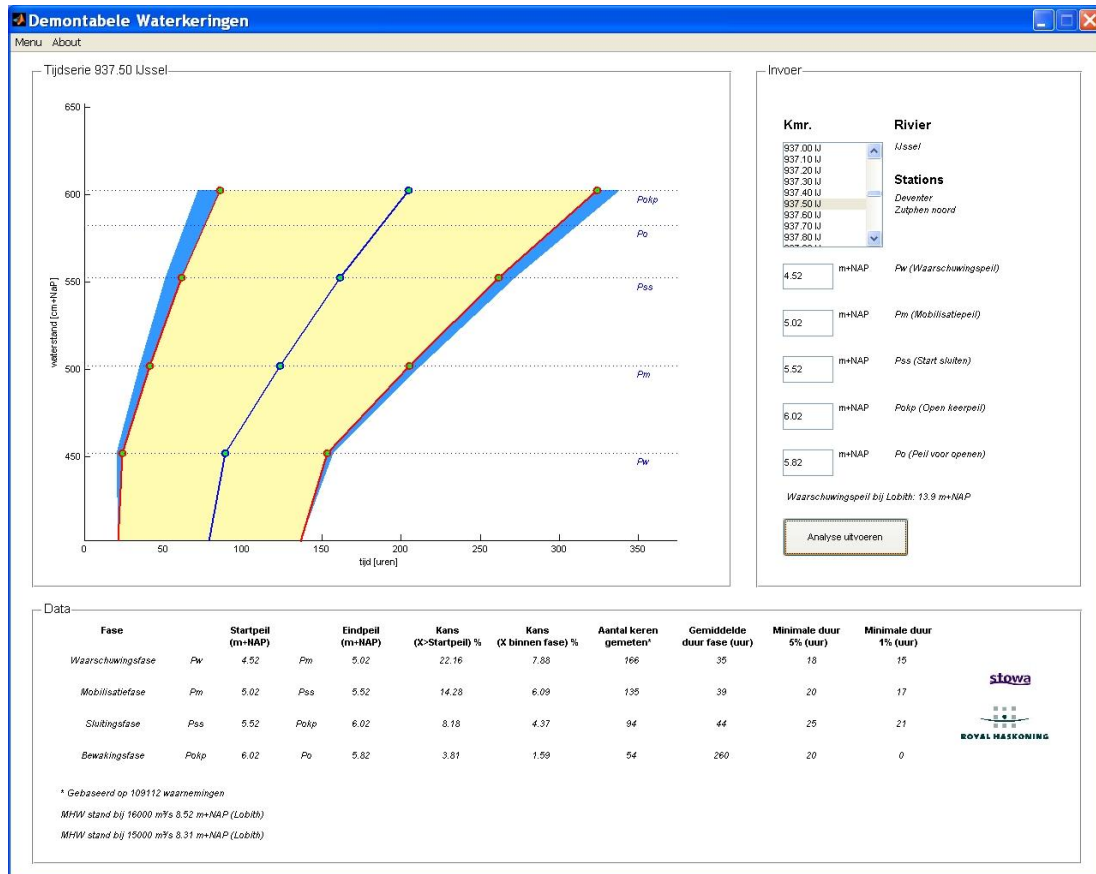
1. Hoe vaak wordt naar verwachting het peil overschreden?
2. Hoe vaak wordt naar verwachting het peil overschreden onder de voorwaarde at ook het volgende peil wordt bereikt?
3. Wat is de te verwachten periode tussen de opeenvolgende peilen?
4. Wat is de minimaal te verwachten periode tussen de opeenvolgende peilen?

---

<sup>1</sup> Niet voor alle stations zijn uurwaarden bekend vanaf 1975, voor alle stations geldt dat de maximaal beschikbare data is gebruikt en vertaald naar uurwaarden.

### 1.3 Opzet van de toepassing

In figuur 1 is het basisscherm weergegeven van de toepassing.



Figuur 1: Overzicht van het basisscherm

Dit scherm is opgedeeld in drie panelen: Tijdsree, Invoer en Data. Het **tijdsreepaneel** wordt gebruikt om grafisch weer te geven welke benodigde tijd berekend wordt per fase, met uitzondering van de Po fase. De grafiek wordt pas weergegeven nadat een analyse is uitgevoerd en verdwijnt indien verandering optreedt in het invoerpaneel. Op de assen wordt waterstand in cm ten opzichte van NAP uitgezet tegen tijd in uren.

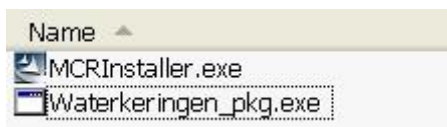
Het **invoerpaneel** wordt gebruikt om de locatie en de vijf peilen aan te geven die relevant worden geacht bij de aangegeven locatie. Gekozen kan worden uit de Rijntakken (Bovenrijn, Pannerdens Kanaal, Waal, Nederrijn en IJssel) en de Maas. De MHW standen voor Lobith en Borgharen zijn opgenomen in de database, en worden weergegeven in het Datapaneel. Voor ieder opgegeven waarschuwingspeil Pw wordt de bijbehorende corresponderende waterstand bij Lobith (Rijntakken) of Borgharen (Maas) weergegeven in het invoerpaneel. De toepassing gaat ervan uit dat de opgegeven peilen opvolgend zijn, dit betekent dat de volgorde Pw->Pm->Pss->Po->Pokp gehandhaafd dient te blijven. Als deze volgorde niet wordt aangehouden verschijnt er een melding op het scherm. Verder geldt dat Pokp de MHW stand niet mag overschrijden. Als standaardwaarde wordt gerefereerd aan de (lokale) MHW stand volgens: Pw = MHW - 4,0 m, Pm = MHW - 3,5 m, Pss = MHW - 3,0 meter, Pokp = MHW - 2,5 m en Po = MHW - 2,7 m.

Op het invoerpaneel staat verder vermeld welke rivier er is geselecteerd en van welke meetstations gebruik is gemaakt bij het interpoleren van waterstanden naar locatie per hectometer.

Het **datapaneel** bevat de berekende waarden voor frequenties en perioden, nadat de analyseknop is ingedrukt. Frequenties worden gegeven in % van het totaal aantal waarnemingen, perioden in uren. Indien de gemiddelde periode kleiner is dan 24 uur wordt het datavak lichtrood gekleurd. Naast de uitvoergegevens worden in het datapaneel de relevante MHW gegevens bij de opgegeven locatie weergegeven. Voor de Rijntakken zijn MHW gegevens voor een afvoer van 15.000 m<sup>3</sup>/s en 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith opgenomen. Voor de Maas gelden MHW-afvoeren van 3.800 m<sup>3</sup>/s en 4.000 m<sup>3</sup>/s. De MHW standen zijn afgeleid uit recente betrekkinglijnen afkomstig van RWS Limburg en RWS Oost Nederland.

## 1.4 Installatie van de toepassing

De toepassing is gemaakt met behulp van de Matlab Compiler™. Dit betekent dat de code in C script wordt omgezet en dat gebruik wordt gemaakt van een DOS window voor het draaien van de toepassing. De volgende acties dienen te worden uitgevoerd voor het installeren van de toepassing.



- Kopieer de bestanden Waterkeringen\_pkg.exe en MCRInstaller.exe naar de gewenste directory op de harde schijf (bijvoorbeeld Waterkeringen).
- Run Waterkeringen\_pkg.exe. De benodigde bestanden worden uitgepakt en MCRInstaller wordt gedraaid.



- Run Path.bat, hiermee wordt de Matlab runtime aan de systeemvariabelen toegevoegd. *NB: hier wordt uitgegaan van het pad C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Compiler Runtime\v78\bin\win32, dit is het standaard pad voor MCRInstaller. Indien dit is geïnstalleerd in een andere directory dient dit pad te worden aangegeven in Path.bat alvorens dit te draaien.*
- Run Waterkeringen.exe.

## 2 VASTSTELLEN VAN DE PARAMETERS

In figuur 1 zijn de verschillende parameters weergegeven.

### 2.1 Bepaling van frequenties in percentages

Fase		Startpeil (m+NAP)	Eindpeil (m+NAP)	Kans (X>Startpeil) %	Kans (X binnen fase) %	Aantal keren gemeten*	Gemiddelde duur fase (uur)	Minimale duur 5% (uur)	Minimale duur 1% (uur)	
Waarschuwingsfase	$P_w$	4.52	$P_m$	5.02	22.16	7.88	166	35	18	15
Mobilisatiefase	$P_m$	5.02	$P_{ss}$	5.52	14.28	6.09	135	39	20	17
Sluitingsfase	$P_{ss}$	5.52	$P_{okp}$	6.02	8.18	4.37	94	44	25	21
Bewakingsfase	$P_{okp}$	6.02	$P_o$	6.02	3.81	1.59	54	260	20	0

\* Gebaseerd op 109112 waarnemingen

MHW stand bij 16000 m<sup>3</sup>s 8.52 m+NAP (Lobith)

MHW stand bij 15000 m<sup>3</sup>s 8.31 m+NAP (Lobith)

**Figuur 2: Overzicht van de belangrijkste parameters**

De verschillende parameters worden onderstaand toegelicht:

Kans (X>Startpeil) %: Percentage waarnemingen dat het aangegeven peil overschrijdt.

$$P = P(Z_i > P_w)$$

Kans(X binnen fase) %: Percentage waarnemingen tussen het aangegeven peil en het opvolgende peil.

$$P = P(Z_i > P_w \cap Z_i < P_m)$$

### 2.2 Bepaling van perioden

Voor de bepaling van de gemiddelde perioden wordt gebruik gemaakt van een zoekmechanisme binnen de waarnemingen per locatie die bepaalt wat de gemiddelde stijgsnelheid is per uur. Vervolgens kan per fase worden bepaald hoe lang het gemiddeld duurt voordat de volgende fase wordt bereikt. De 95% en de 99% waarden worden gevonden door uit te gaan van een *standaardnormale verdeling*. Deze verdeling is gekozen omdat de verdeling van *stijgsnelheden* een normale verdeling laat zien (NB: *waterstanden* zijn in het algemeen niet normaal verdeeld!). De verdelingsfunctie van de standaardnormale verdeling luidt:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

Voor de bepaling van de verschillende reeksen binnen de waarnemingen die relevant zijn voor het bepalen van de perioden is gebruik gemaakt van zoekmechanismen die ervoor zorgen dat relevante waarnemingen en stijgsnelheden zijn geïsoleerd.

	Zoekmechanisme	Omschrijving
$P_w$	$P(Z_i \leq P_w) \cap P\left(\frac{\partial h}{dt} > 0\right)$	Kans dat een waarneming kleiner is dan $P_w$ waarvoor de stijgsnelheid positief is
$P_m$	$P(Z_{i-1} \leq P_w \cap Z_i \leq P_m) \cap P(P_w \leq Z \leq P_m) \cap P\left(\frac{\partial h}{dt} > 0\right)$	Kans dat een waarneming tussen $P_m$ en $P_w$ ligt, óf hier net binnen valt (1 <sup>e</sup> waarneming ligt onder $P_w$ en de volgende boven $P_w$ ), waarvoor de stijgsnelheid positief is.
$P_{ss}$	$P(Z_{i-1} \leq P_m \cap Z_i \leq P_{ss}) \cap P(P_m \leq Z \leq P_{ss}) \cap P\left(\frac{\partial h}{dt} > 0\right)$	Kans dat een waarneming tussen $P_{ss}$ en $P_m$ ligt, óf hier net binnen valt (1 <sup>e</sup> waarneming ligt onder $P_m$ en de volgende boven $P_m$ ), waarvoor de stijgsnelheid positief is.
$P_{okp}$	$P(Z_{i-1} \leq P_{ss} \cap Z_i \leq P_{okp}) \cap P(P_{ss} \leq Z \leq P_{okp}) \cap P\left(\frac{\partial h}{dt} > 0\right)$	Kans dat een waarneming tussen $P_{okp}$ en $P_{ss}$ ligt, óf hier net binnen valt (1 <sup>e</sup> waarneming ligt onder $P_{ss}$ en de volgende boven $P_{ss}$ ), waarvoor de stijgsnelheid positief is.
$P_o$	$P(Z_{i-1} \leq P_{okp} \cap Z_i \geq P_{okp}) \cap T(Z_{i-n} \geq P_{okp} \cap Z_i \leq P_o)$	Samengestelde zoekfunctie uit de kans dat de 1 <sup>e</sup> waarneming kleiner is dan $P_{okp}$ en de tweede groter dan $P_{okp}$ , vanaf waar het gemiddelde interval wordt bepaald tot waar een waarneming voor het eerst onder $P_o$ valt.

De gemiddelde periode voor  $P_m$  bijvoorbeeld wordt bepaald aan de hand van:

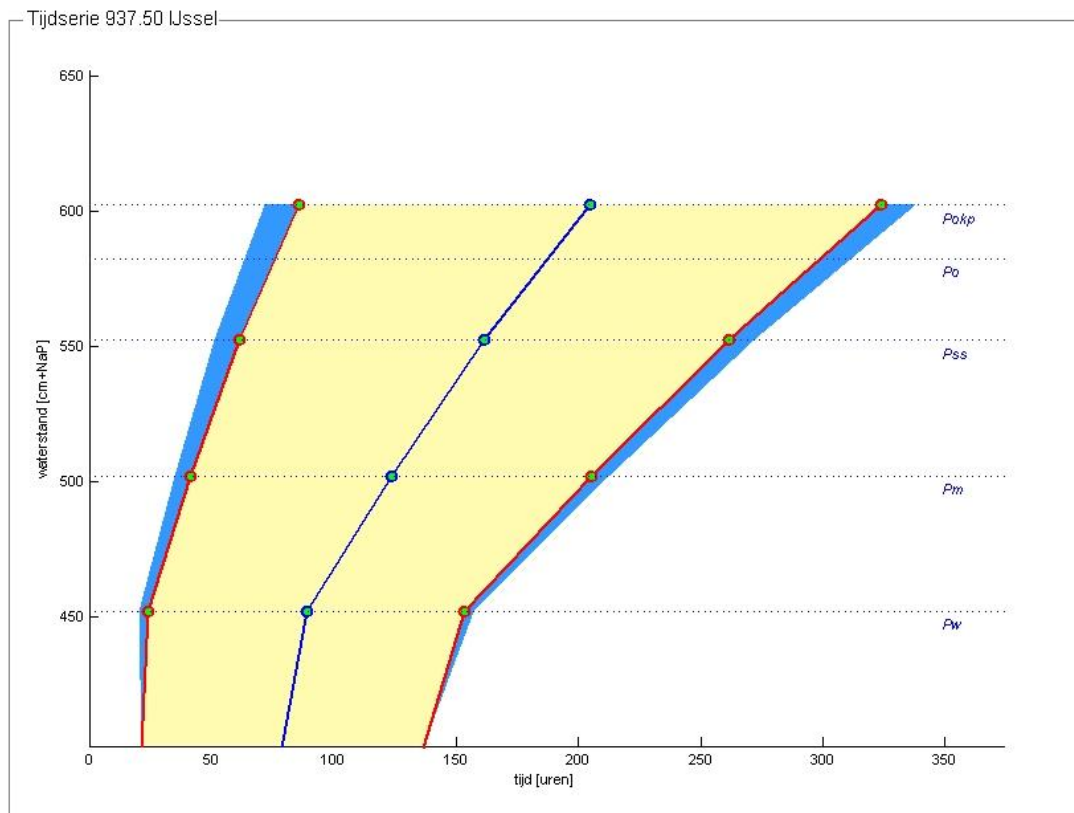
$$P_m = \frac{(P_m - P_w)}{\mu\left(\frac{dh}{dt}\right)}$$

De perioden voor  $P_{ss}$ ,  $P_{okp}$  worden op dezelfde wijze bepaald.

Voor  $P_w$  wordt de periode bepaald volgens:

$$P_m = \frac{1}{\mu\left(\frac{dh}{dt}\right)}$$

Dit komt overeen met de gemiddeld benodigde tijd om 1 meter te stijgen voordat  $P_w$  is bereikt. De gemiddelde periode voor  $P_o$  wordt bepaald door vast te stellen wanneer een waarneming voor de eerste keer groter wordt dan  $P_{okp}$ . De gemiddelde tijd die nodig is om vanaf daar voor de eerste keer onder  $P_o$  te komen geldt als periode voor  $P_o$ . De spreiding hierin kan erg groot zijn.



**Figuur 3: Figuur met voorspelde stijgingen in de IJssel**

Figuur 3 geeft de voorspelde tijden aan per peil. De 95% schatting is hierin in het geel aangegeven. De 99% schatting in het blauw. Uit de figuur is de cumulatieve tijd af te lezen die nodig is om van waarschuwingspeil naar open keerpeil te gaan per hectometer rivier.

Geconcludeerd kan worden uit de berekende waarden in figuur 2 dat voor de geselecteerde locatie kmr. 937,50 aan de IJssel het gemiddeld 35 uur duurt voordat de waarschuwingsfase is verstreken. Het duurt in totaal gemiddeld 118 (35+39+44) uur voordat de sluitingsfase is bereikt, maar in 5% van de gevallen duurt dit slechts 63 uur. Sinds 1975 is Pw 166 keer overschreden, gebaseerd op 109112 waarnemingen bij de meetstations Deventer en Zutphen Noord.

In 1% van de gevallen duurt het 53 uur voor de sluitingsfase is bereikt. Ongeveer 22% van de waarnemingen tussen 1975 en 2008 liggen boven de 4,52 m+NAP. 3,81% van de waarnemingen in die periode ligt boven Pokp. Circa 6% van de waarnemingen ligt tussen Pss en Pm. De tijd die gemiddeld nodig is voor de waterstand om van Pokp naar Po te dalen bedraagt 260 uur, ongeveer 11 dagen. Gezien de grote spreiding hierin kan dit echter ook 20 uur duren.

## 2.3 Interpolatie tussen meetstations

De gebruikte stations voor de Rijntakken en de Maas zijn afkomstig van [www.waterbase.nl](http://www.waterbase.nl). De volgende stations met gegevens vanaf 1975 tot 2008 zijn gebruikt:

**Tabel 1: Overzicht gebruikte meetstations**

Station	Kmr.	Rivier
Lobith	862.2	Bovenrijn
Deventer	944.9	IJssel
Doesburg brug	903	IJssel
Kampen	995.5	IJssel
Zutphen noord	929.4	IJssel
Wijhe	965	IJssel
Olst	957.1	IJssel
Katerveer	980.7	IJssel
Driel beneden	891.7	Nederrijn
Driel boven	891.1	Nederrijn
Amerongen beneden	922.6	Nederrijn
Amerongen boven	922	Nederrijn
Culemborg brug	939.6	Nederrijn
Hagestein beneden	947.1	Nederrijn
Hagestein boven	946.6	Nederrijn
Jaarsveld	960.5	Nederrijn
Krimpen a/d Lek	988.5	Nederrijn
Schoonhoven	971.5	Nederrijn
Streefkerk	979.7	Nederrijn

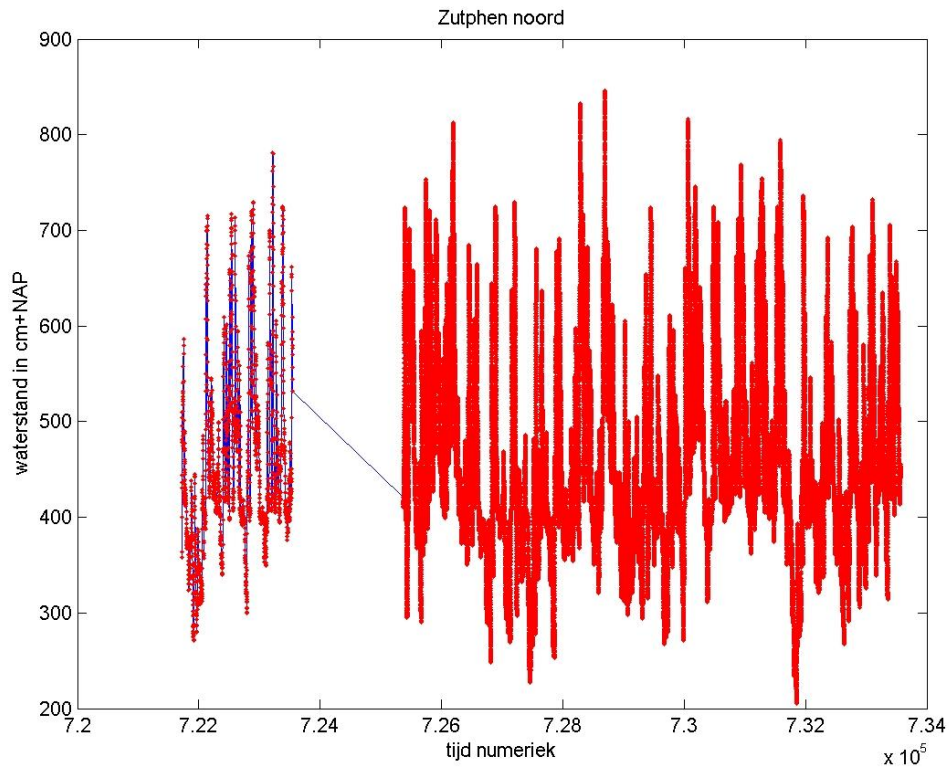


Station	Kmr.	Rivier
Pannerden	871.8	Waal
Pannerdense Kop	867.1	Waal
Zaltbommel	934.7	Waal
Nijmegen haven	884.8	Waal
Tiel	914.6	Waal
Tiel haven	913.5	Waal
Sint Andries Waal	925.8	Waal
Herwijnen	945.3	Waal
Vuren	951.8	Waal
Werkendam buiten	960.9	Waal
Well dorp	132.1	Maas
Belfeld beneden	101	Maas
Borgharen dorp	16	Maas
Sint Pieter	9.9	Maas
Borgharen Julianakanaal	0.9	Maas
Eijsden grens	2.5	Maas
Elsloo	29.3	Maas
Grave beneden	175.8	Maas
Grevenbicht	43.9	Maas
Heel beneden	1.3	Maas
Heesbeen	231	Maas
Neer	90	Maas
Keizersveer	247.5	Maas
Linne beneden	68.3	Maas
Lith boven	200.9	Maas
Maasbracht	33.7	Maas
Maastricht	13.9	Maas
Megen dorp	190.5	Maas
Mook	165	Maas
Sambeek beneden	147	Maas
Lith dorp	202.4	Maas
Maaseik	52.5	Maas
Sint Pieter Noord	11	Maas
Stevensweert	61.6	Maas

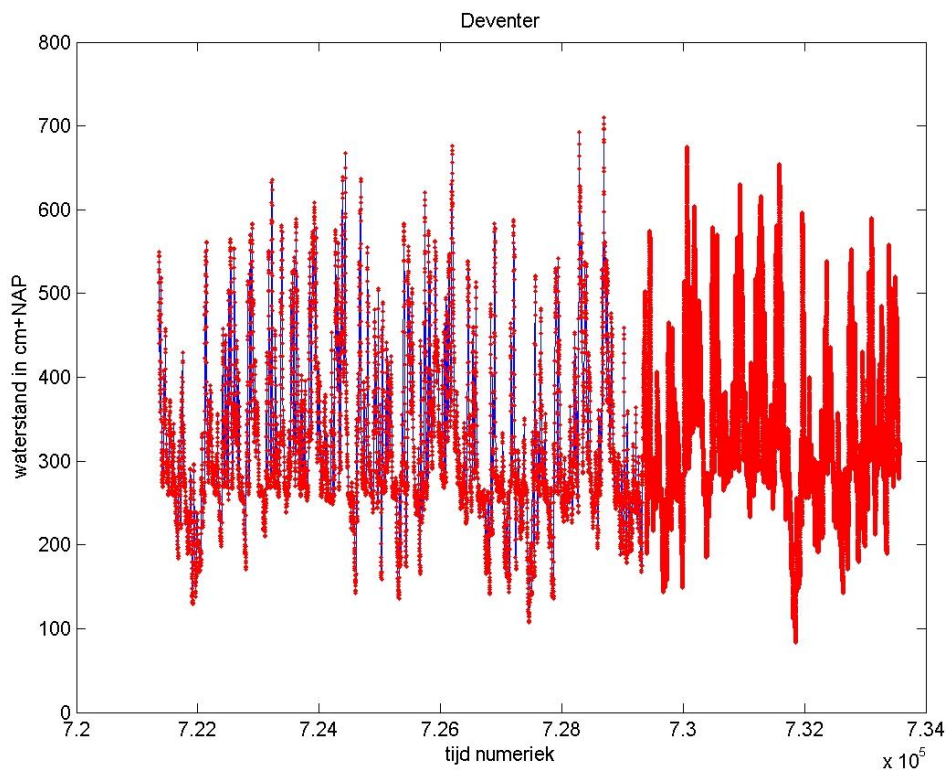
In figuur 4 zijn de gebruikte stations weergegeven.



Als voorbeeld wordt hier de interpolatie beschreven tussen de stations Zutphen noord en Deventer als de keuzelocatie kmr. 937,50 is. De afstand tussen de verschillende stations bedraagt resp. 8,1 (Zutphen noord) en 7,4 (Deventer) kilometer.

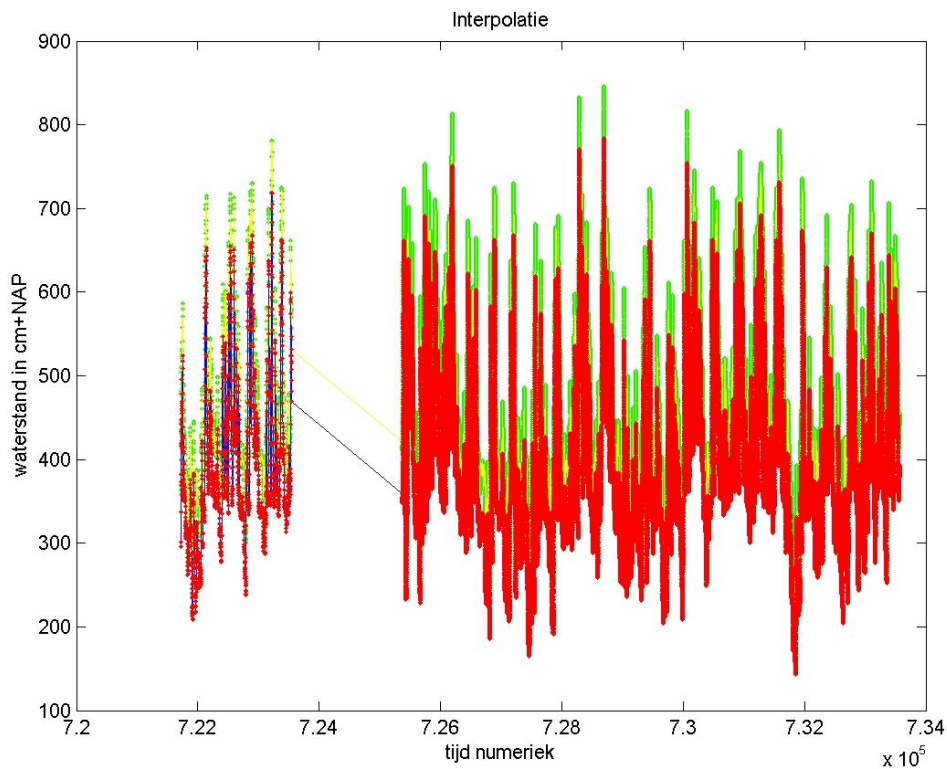


**Figuur 5: Gegevens van het meetstation Zutphen Noord**



**Figuur 6: Gegevens van het meetstation Deventer**

Als interpolatie wordt het gewogen gemiddelde bepaald tussen de twee stations op basis van afstand en gemiddelde waterstand. Dit verschil wordt verrekend met het dichtstbijzijnde station, in dit geval Zutphen Noord. Voor de te gebruiken dataset geldt dan dat -62,24 cm wordt verrekend.



Figuur 7: Gegevens van het geïnterpoleerde meetstation (rood), gebaseerd op Zutphen Noord

## 2.4 Menuopties

De menuopties bestaan uit drie mogelijkheden



**Print**: Link naar het Windows printermenu. Hier kan ook gekozen worden om een figuur te printen (bijvoorbeeld Adobe pdf printer).

**Exporteer gegevens** : Exporteer de gegevens in het Data scherm van de toepassing.

Tijdserie 937.50 IJssel

Aangemaakt op 2008-10-01 16:14:54

	Stand [m+NAP] dT99% [uur]	P1 [%]	P2 [%]	dTgem [uur]	dT95% [uur]	
Pw	4.52	22.16	7.88	89	25	21
Pm	5.02	14.28	6.09	35	18	15
Pss	5.52	8.18	4.37	39	20	17
Pokp	6.02	3.81	0	44	25	21
Po	5.82	5.4	1.59	264	15	0

MHW stand bij 16000 m<sup>3</sup>/s 8.52 m+NAP (Lobith)

MHW stand bij 15000 m<sup>3</sup>/s 8.31 m+NAP (Lobith)

**Figuur 8: Voorbeeld van export bestand voor kmr. 937,50 IJssel**

**Exporteer Data** : Exporteer de geïnterpoleerde data naar een tekstbestand.

Tijdserie 937.50 IJssel

Aangemaakt op 2008-10-01 16:14:58

MHW stand bij 16000 m<sup>3</sup>/s 8.52 m+NAP (Lobith)

MHW stand bij 15000 m<sup>3</sup>/s 8.31 m+NAP (Lobith)

Geïnterpoleerde dataserie:

Jaar	Maand	Dag	Uur	Minuut	Waterstand [cm+NAP]
1975	1	1	8	0	606
1975	1	2	8	0	611
1975	1	3	8	0	612
1975	1	4	8	0	607
1975	1	5	8	0	600
1975	1	6	8	0	587
1975	1	10	8	0	552

....

**Figuur 9: Voorbeeld van export bestand voor geïnterpoleerde data voor kmr. 937,50 IJssel**

**Contact:** Contactinformatie Royal Haskoning.



BIJLAGE F

# KAART EN CHECKLIST KEUZEMODEL



