

Kosten van maatregelen

**Informatie ten behoeve van het project
Waterveiligheid 21e eeuw**



Kosten van maatregelen

**Informatie ten behoeve van het project
Waterveiligheid 21e eeuw**

P. de Grave
G. Baarse (BB&C)

1204144-003

Titel
Kosten van maatregelen

| | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------|
| Opdrachtgever RWS WD | Project 1204144-003 | Kenmerk 1204144-003-ZWS-0001 | Pagina's 124 |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------|

Trefwoorden

Waterveiligheid 21e eeuw, WV21, kostenbaten analyse, MKBA, KBA, basisinformatie, kosten, kostenramingen, KOSWAT, dijkversterking, kunstwerken, dijkbekleding



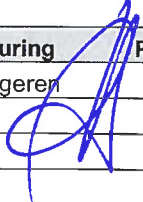
Samenvatting

In het project Waterveiligheid 21e Eeuw (WV21), uitgevoerd door de Waterdienst en Deltares in opdracht van DG Water vindt een verkenning plaats van de in de toekomst gewenste niveaus (normen) voor de overstromingsveiligheid van Nederland. Daartoe wordt onder meer een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) uitgevoerd.

Dit rapport levert de onderbouwing van de in de MKBA gebruikte kostenramingen voor het versterken van waterkeringen en beschrijft de methode die ontwikkeld is voor het landsdekkend ramen van deze kosten en de aannamen die daarbij gehanteerd zijn. Hierbij worden naast reguliere dijkversterking ook kunstwerken en dijkbekleding beschouwd. Ten behoeve van de MKBA zijn naast de kosten van de zogenaamde referentiesituaties eveneens aanvullende ramingen gedaan voor een aantal gevoeligheidsanalyses en varianten. De resultaten van deze aanvullende ramingen worden eveneens in dit rapport gepresenteerd.

Referenties

-

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| def | maa. 2011 | P. de Grave |  | J.G. Knoeff |  | A.G. Segeren |  |
| | | G. Baarse (BB&C) | | | | | |

Status
definitief

Samenvatting

In het project Waterveiligheid 21e Eeuw (WV21) vindt een verkenning plaats van de in de toekomst gewenste niveaus (normen) voor de overstromingsveiligheid van Nederland. Daartoe wordt onder meer een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) uitgevoerd. De MKBA richt zich op de beantwoording van de volgende twee vragen:

- Wat zijn voor de verschillende dijkringen in Nederland de economisch meest efficiënte (optimale) beschermingsniveaus voor overstroming?
- Wat zijn de kosten die samenhangen met het behalen van deze beschermingsniveaus?

Het basisprincipe van de MKBA is dat een afweging plaatsvindt van de kosten van het vergroten van het waterkerend vermogen van waterkeringen versus de baten in termen van de afname van schade/slachtoffers samenhangend met de afname van de overstromingskans, ofwel de afname van het overstromingsrisico.

Dit rapport beschrijft de werkzaamheden uitgevoerd binnen het zogenaamde 'Kostenspoor'. Het kostenspoor is gericht op het vaststellen van de kosten die zijn gemoeid met het aanpassen (versterken) van waterkeringen om aan nader te bepalen (optimale) beschermingsniveaus te kunnen voldoen, met een daarbij behorende toenemende hydraulische belasting.

De zogenaamde kostenfuncties beschrijven het verband tussen de toename van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) dat de kering moet kunnen weerstaan, en de investeringskosten die nodig zijn om de waterkeringen hieraan aan te passen. De kostenfuncties worden gebruikt in het model OptimaliseRing dat ten behoeve van de ondersteuning van de uitvoering van de MKBA is ontwikkeld. De belangrijkste uitgangspunten bij het ontwikkelen van de kostenfuncties zijn:

- Kostenfuncties worden opgesteld voor de primaire keringen van de categorie A, te onderscheiden naar de binnen WV21 gedefinieerde dijkkringtrajecten.
- In de te ontwikkelen kostenfuncties worden de eenmalige investeringskosten vastgesteld als functie van de toename van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) ter plaatse van de kering. Het bereik van de kostenfuncties dient daarbij minimaal gelijk te zijn aan tweemaal de decimeringshoogte op het HBN. Hiermee wordt gewaarborgd dat in de analyse overstromingskansen kunnen worden beschouwd die minimaal twee ordes kleiner zijn dan de huidige overstromingskans
- Bij de te ontwikkelen kostenfuncties wordt in principe rekening gehouden met alle relevante typen waterkeringen.
- Bij de te ontwikkelen kostenfuncties wordt rekening gehouden met alle relevante faalmechanismen, conform de huidige ontwerpcriteria uit de vigerende leidraden.
- Voor de kostenramingen wordt uitgegaan van prijspeil januari 2009.
- Alle in deze rapportage genoemde bedragen zijn exclusief BTW.

Om de kenmerken van bestaande keringen tot uitdrukking te brengen binnen de kostenramingen is aan de beheerders gevraagd om per dijkkringtraject informatie te verschaffen over karakteristieke eigenschappen van dijkprofielen en de deeltrajecten waarvoor die van toepassing zijn. Daarnaast is per dijkkringtraject een nadere indeling gemaakt op grond van de bodemopbouw en op basis van geologische gebiedskennis en

gegevens uit de DINO-database van TNO/NITG. Tevens is daarbij gebruik gemaakt van de piping gegevens uit VNK2 die voor ca 50% van de keringen beschikbaar is. Het onderscheid naar deeltrajecten met karakteristieke eigenschappen in combinatie met het onderscheid van deeltrajecten met verschillende bodemopbouw heeft geleid tot de identificatie van de afzonderlijk te beschouwen dijkvakken binnen de dijkringtrajecten. In totaal zijn 652 dijkvakken onderscheiden binnen de beschouwde A-keringen.

Binnen ieder beschouwd dijkvak wordt een onderscheid gemaakt naar twee hoofdgroepen van onderdelen waarvoor afzonderlijke kostenbepalingen plaatsvinden. De eerste groep heeft betrekking op de typen keringen die als waterkerende delen met een bepaalde lengte worden onderscheiden. Bij de tweede groep gaat het om lokale objecten (waterkerende kunstwerken, en andere specifieke aanpassingen, zoals bijvoorbeeld wegkruisingen), die 'per stuk' kunnen worden beschouwd. Binnen de eerste groep kan verder onderscheid gemaakt worden naar keringen die uitsluitend bestaan uit een grondlichaam (de reguliere dijken) en naar keringen waarbij al in de uitgangssituatie sprake is van een soort van langsconstructies, zoals damwandschermen, boulevard- of kadeconstructies waardoor een voornamelijk constructief karakter ontstaat. In dit verband wordt dus onderscheid gemaakt naar de uitgangssituaties 'grond' en 'constructief'.

Bij de bepaling van benodigde maatregelen voor de aanpassing van keringen wordt rekening gehouden met verschillende faalmechanismen, naast kerende hoogte worden ook benodigde maatregelen bij het versterken van de kering voor opbarsten/piping en macrostabiliteit beschouwd. Tevens worden op plaatsen waar dat aan de orde is kosten berekend voor de aanleg, of het aanpassen van (harde) dijkbekleding op het buitentalud.

Een overzicht van de aanpak van de ontwikkeling van de kostenfuncties en een afbakening van de verschillende inhoudelijke onderdelen is gegeven in hoofdstuk 2 van dit rapport. Deze aanpak wordt concreet uitgewerkt en verder ingevuld voor een drietal onderdelen die min of meer afzonderlijk zijn beschouwd, betrekking hebbend op de maatregelen voor:

- Versterking van het dijklichaam
- Versterking van de dijkbekleding
- Aanpassing van kunstwerken

De aanpak van deze onderdelen heeft vorm gekregen in de ontwikkeling van een aantal afzonderlijke instrumenten die zijn aangeduid als de 'kostenfunctie generatoren'. De beschrijving van de kostenfunctie generatoren voor dijkversterking, dijkbekleding en kunstwerken is aan de orde in de afzonderlijke hoofdstukken 4, 5 en 6. De integrale kostenfuncties komen tot stand op basis van de deelskostenfuncties zoals die voor de bovengenoemde onderdelen worden ontwikkeld. In hoofdstuk 3 zijn de gebruikte gegevensbronnen nader toegelicht.

De resultaten van de ramingen die specifiek gemaakt zijn voor WV21 zijn beschreven in hoofdstuk 7. Hoofdstuk 1 beschrijft de opzet en resultaten van het uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek. In hoofdstuk 9 wordt een beknopte vergelijking gemaakt met eerder uitgevoerde landelijke studies.

Inhoud

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Samenvatting | a |
| 1 Inleiding | 1 |
| 1.1 Kader en aanleiding | 1 |
| 1.2 Opzet van het WV21-onderzoek | 1 |
| 1.3 Afbakening | 3 |
| 1.4 Uitvoering van het kostenpoor | 3 |
| 1.5 Overzicht en inhoud rapport | 4 |
| 2 Aanpak op hoofdlijnen | 7 |
| 2.1 Ruimtelijke schematisatie | 7 |
| 2.1.1 Dijkringdelen | 7 |
| 2.1.2 Dijkkringtrajecten | 8 |
| 2.1.3 Dijkvakken | 8 |
| 2.1.4 Gehanteerde codering | 9 |
| 2.2 Aanpak per dijkkringtraject | 9 |
| 2.2.1 Inventarisatie onderdelen van de waterkering per dijkvak | 10 |
| 2.2.2 Maatregelen en faalmechanismen | 10 |
| 2.2.3 Totale discrete kostenfuncties per dijkvak | 11 |
| 2.2.4 Aggregatie naar kostenfuncties per dijkkringtraject | 12 |
| 2.2.5 B&O kosten | 14 |
| 2.3 Overzicht ontwikkelde kostenfunctie generatoren en gegevensbestanden | 15 |
| 3 Gegevensbestanden | 19 |
| 3.1 Basisgegevens dijkvakken | 19 |
| 3.2 Basisgegevens hydraulische belasting | 20 |
| 3.3 Gegevens omgevingsituatie | 21 |
| 3.3.1 Bebouwing en infrastructuur | 21 |
| 3.3.2 Kunstwerken | 23 |
| 3.4 Basisgegevens kostenbepaling | 24 |
| 3.4.1 Prijzenbestand Kostenspoor | 24 |
| 3.4.2 Kostenbepaling aanpassing kunstwerken | 25 |
| 3.5 Dimensies van versterkingsmaatregelen | 26 |
| 4 Methode kostenraming dijkversterking | 31 |
| 4.1 Aanpak onderdeel dijkversterking | 31 |
| 4.1.1 De uitgangssituatie | 31 |
| 4.1.2 Omgaan met faalmechanismen | 32 |
| 4.1.3 Omgevingsituatie | 33 |
| 4.2 Overzicht van specifieke maatregelen | 34 |
| 4.3 Vaststelling van toe te passen maatregelen | 39 |
| 4.4 Kostenfunctie Generator Dijkversterking | 43 |
| 4.5 Benodigde gegevens en bewerking | 44 |
| 4.5.1 Basisgegevens dijkvakken | 44 |
| 4.5.2 Aansturing van en verwerking resultaten van RRD-analyse | 44 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5.3 | Overzicht systeemaannamen | 46 |
| 4.6 | Kostenbepaling | 47 |
| 5 | Methode kostenramingen dijkbekleding | 49 |
| 5.1 | Aanpak onderdeel dijkbekleding | 49 |
| 5.1.1 | Onderscheid naar hoofd- en subsystemen | 49 |
| 5.1.2 | Uitgangssituatie en beschouwde maatregelen | 50 |
| 5.1.3 | Uitgangspunten specificatie maatregelen en ontwikkeling kostenfuncties | 53 |
| 5.2 | Ontwikkeling van de Kostenfunctie Generator Dijkbekleding | 55 |
| 5.3 | Benodigde gegevens en bewerking | 55 |
| 5.3.1 | Basisgegevens dijkvakken | 55 |
| 5.3.2 | Systeemaannamen en defaultwaarden | 56 |
| 5.4 | Kostenbepaling | 57 |
| 6 | Methode kostenramingen kunstwerken | 59 |
| 6.1 | Aanpak onderdeel kunstwerken | 59 |
| 6.1.1 | Te beschouwen waterkerende kunstwerken | 59 |
| 6.1.2 | Uitgangspunten specificatie maatregelen en ontwikkeling kostenfuncties | 60 |
| 6.2 | Ontwikkeling van de Kostenfunctie Generator Kunstwerken | 61 |
| 6.3 | Benodigde gegevens en bewerking | 61 |
| 6.3.1 | Inventarisatie kunstwerken per dijkvak | 61 |
| 6.3.2 | Vervangingswaarden kunstwerken en opslagfactoren | 62 |
| 6.3.3 | Systeemaannamen | 62 |
| 6.4 | Kostenbepaling | 62 |
| 7 | Resultaten kostenramingen | 63 |
| 7.1 | Beschouwde varianten, gevoeligheids- en aanvullende analyses | 63 |
| 7.2 | Eerste en tweede referentiesituatie | 64 |
| 7.2.1 | Achtergronden bij de gehanteerde referentiesituaties binnen het onderzoek | 64 |
| 7.2.2 | Samenhang tussen beide referentiesituaties in het kostenspoor | 68 |
| 7.2.3 | Dijkprofiel in de referentiesituaties | 71 |
| 7.2.4 | Omgang met kunstwerken en bekleding | 73 |
| 7.2.5 | Grensoverschrijdende dijktringen | 74 |
| 7.2.6 | Kustrajecten dijkkring 14 | 74 |
| 7.2.7 | Resultaten kostenramingen referentiesituaties | 75 |
| 7.3 | Gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario | 76 |
| 7.3.1 | Algemeen | 76 |
| 7.3.2 | Beschouwde dijkkringtrajecten | 76 |
| 7.3.3 | Gewijzigde gegevens ten opzichte van de basisvariant | 76 |
| 7.3.4 | Resultaten ramingen gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario | 77 |
| 7.4 | Gevoeligheidsanalyse overhoogte en -sterkte | 77 |
| 7.4.1 | Algemeen | 77 |
| 7.4.2 | Aansluiting op het kansenspoor | 77 |
| 7.4.3 | Profiel in de referentiesituatie en kostenramingen per vak | 78 |
| 7.4.4 | Geaggregeerde resultaten per subtraject | 79 |
| 7.5 | Piping en vergelijking VNK | 79 |
| 7.5.1 | Algemeen | 79 |
| 7.5.2 | Opzet gevoeligheidsanalyse | 79 |
| 7.5.3 | Uitwerking en resultaat gevoeligheidsanalyse | 80 |
| 7.5.4 | Vergelijking methode VNK | 81 |
| 7.6 | Variant hoogwatergeul Kampen | 82 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.7 | B-keringen | 83 |
| 8 | Gevoeligheidsonderzoek | 85 |
| 8.1 | Inleiding en overzicht | 85 |
| 8.2 | Afbakening inhoud gevoeligheidsonderzoek | 85 |
| 8.2.1 | Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator dijkversterking | 86 |
| 8.2.2 | Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator dijkbekleding | 89 |
| 8.2.3 | Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator kunstwerken | 91 |
| 8.3 | Resultaten gevoeligheidsonderzoek Dijkversterking | 92 |
| 8.4 | Resultaten gevoeligheidsonderzoek versterking Dijkbekleding | 98 |
| 8.5 | Resultaten gevoeligheidsonderzoek versterking Kunstwerken | 100 |
| 8.6 | Definitie en effecten van hoge en lage varianten kostenfuncties | 103 |
| 8.6.1 | Hoge en lage variant deelkostenfunctie Dijkversterking | 104 |
| 8.6.2 | Hoge en lage variant deelkostenfunctie Dijkbekleding | 104 |
| 8.6.3 | Hoge en lage variant deelkostenfunctie Kunstwerken | 104 |
| 8.6.4 | Hoge en lage variant totale kostenfunctie | 105 |
| 8.6.5 | Effecten van hoge en lage varianten kostenfuncties | 105 |
| 8.6.6 | Kosten Basisvariant en effecten hoge en lage kostenvariant | 107 |
| 8.7 | Landelijke bandbreedtes rond basisvariant ten behoeve van Monte Carlo Analyse | 108 |
| 9 | Validatie kostenramingen | 113 |
| 9.1 | Beschouwing ramingen in literatuur | 113 |
| 9.1.1 | Deltacommissie en Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen | 113 |
| 9.1.2 | Centraal Plan Bureau (CPB) – Ruimte voor de Rivier | 113 |
| 9.1.3 | Ramingen consortium ARF | 115 |
| 9.1.4 | Overige beschouwingen | 115 |
| 9.2 | Vergelijking WV21 – ARF | 116 |
| 9.3 | Conclusies | 118 |
| | Begrippenlijst | 119 |
| | Literatuurlijst | 123 |
| | Bijlage(n) | |
| A | Kaart ligging dijkringdelen | A-1 |
| B | Kaarten ligging dijkkringtrajecten | B-1 |
| C | Kostenfunctie Generator Dijkversterking | C-1 |
| C.1 | Basisberekeningen in de KFG Dijkversterking | C-1 |
| C.2 | Opzet en gebruik module Grondmaatregelen Dijkversterking (GDV) | C-7 |
| C.3 | Realisatie KFG Dijkversterking | C-9 |
| D | Kostenfunctie Generator Dijkbekleding | D-1 |
| D.1 | Basisberekeningen in KFG Dijkbekleding | D-1 |
| D.2 | Realisatie KFG Dijkbekleding | D-2 |
| E | Kostenfunctie Generator Kunstwerken | E-1 |
| E.1 | Basisberekeningen in de KFG Kunstwerken | E-1 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| E.2 | Realisatie KFG Kunstwerken | E-2 |
| F | Prijzenbestand Kostenspoor | F-1 |
| G | Resultaten kostenberekening basisvariant | G-1 |
| H | Kaart kostenberekening basisvariant | H-1 |
| I | Resultaten kostenberekening tweede referentie | I-1 |
| J | Kaart kostenberekening tweede referentie | J-1 |
| K | Resultaten kostenberekeningen gevoeligheidsanalyses en varianten | K-1 |
| K.1 | Ramingen gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario | K-1 |
| K.2 | Ramingen gevoeligheidsanalyse overhoogte en –sterkte | K-2 |
| K.3 | Ramingen gevoeligheidsanalyse piping | K-3 |
| K.4 | Ramingen vergelijking VNK | K-4 |
| K.4.1 | Dijkkring 10 | K-4 |
| K.4.2 | Dijkkring 48 | K-4 |
| K.5 | Ramingen By-pass Kampen | K-5 |
| K.6 | Ramingen dijkkring 43 | K-5 |
| K.7 | Ramingen Duitsland | K-5 |
| K.8 | Ramingen B-keringen | K-6 |

1 Inleiding

1.1 Kader en aanleiding

Deltaprogramma en Nationaal Waterplan

De huidige wettelijke normen voor bescherming tegen (grootschalige) overstromingen vanuit zee, rivieren en meren vinden hun basis grotendeels in de jaren zestig van de vorige eeuw. Sinds die tijd is zowel het aantal mensen, als de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk toegenomen. De potentiële gevolgen van een overstroming zijn daardoor ook toegenomen. Voorts is de kennis om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) te berekenen, toegenomen en zijn (economische) methoden voor het onderbouwen van het beschermingsniveau verbeterd.

Voor de actualisering van de waterveiligheidsnormen is een aantal jaren terug het beleidstraject 'Waterveiligheid 21e Eeuw' (WV21) in gang gezet. Inmiddels maakt de actualisering deel uit van het generieke deelprogramma 'Veiligheid' van het Deltaprogramma. Binnen het deelprogramma Veiligheid staat de vraag centraal hoe we Nederland in de toekomst kunnen beschermen tegen overstromingen op een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau.

Het deelprogramma Veiligheid onderzoekt in hoeverre het huidige beschermingsniveau tegen overstromingen nog voldoende aansluit bij de economische waarden en mogelijke slachtoffers achter de waterkeringen. Het deelprogramma bekijkt verder deltadijken, beleid voor buitendijks gebied en – met behulp van regionale gebiedspilots – het concept van de zogenaamde meerlaagsveiligheid (preventie, duurzame ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing).

Het Nationaal Water Plan (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009) schetst het kader voor de beleidsontwikkeling rond waterveiligheid. In de nota is aangegeven dat een maatschappelijke kosten-batenanalyse en analyses van slachtofferrisico worden uitgevoerd ten behoeve van de onderbouwing van waterveiligheidsnormen.

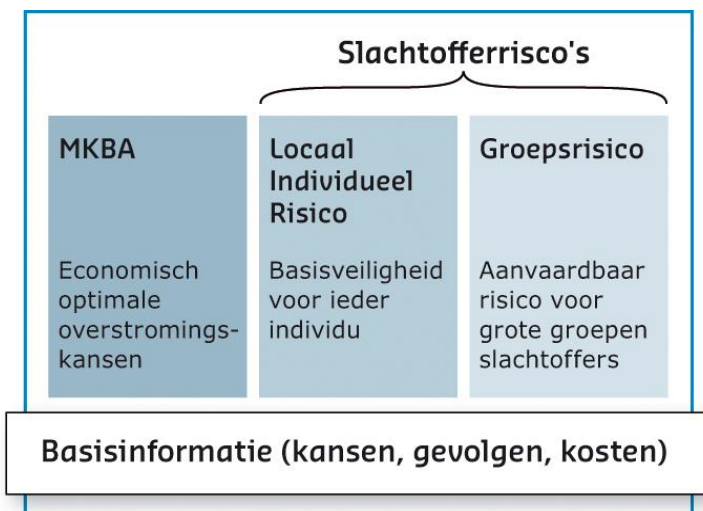
1.2 Opzet van het WV21-onderzoek

De maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) en de analyse van slachtofferrisico's zijn uitgevoerd door Deltares in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. De MKBA richt zich op de kosten en baten van bescherming tegen overstroming. Voor de harde primaire keringen van de categorie a uit de Waterwet worden economisch optimale beschermingsniveaus berekend. De economische doelmatigheid van investeringen in waterkeringen staat daarbij centraal. In de MKBA worden de investeringen (kosten) ter versterking van de waterkeringen afgezet tegen de baten (voorkomen van schade als gevolg van overstromingen). De analyse van slachtofferrisico's geeft inzicht in de overlijdenskansen voor individuen en groepen als gevolg van overstromingen.

De MKBA en slachtofferanalyses leveren informatie en inzichten op, die ondersteunend zijn bij de maatschappelijke afwegingen over actualisering van de waterveiligheidsnormen. Aan de basis van beide analyses staan studies naar de kansen op en gevolgen van overstromingen en naar de kosten van waterkeringen (de zogenaamde basisinformatie):

- In het 'Kansenspoor' zijn de overstromingskansen van de dijkringdelen bepaald alsook een aantal hydraulische kenmerken zoals de decimeringshoogten van waterstanden en kruinhoogten.
- In het 'Gevolgenspoor' zijn de gevolgen van overstromingen bepaald. Het gaat om slachtoffers en schade als functie van de omvang van overstromingen.
- Het 'Kostenspoor' was gericht op het vaststellen van de kosten die zijn gemoeid met het aanpassen (versterken) van waterkeringen. Deze kosten zijn in de vorm van kostenfuncties voor dijkkringtrajecten benut in de MKBA.

De verschillende onderdelen van het onderzoek zijn getoond in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 Rol Overzicht van onderdelen van het WV21-onderzoek

Kostenspoor

Dit rapport gaat in op het 'Kostenspoor'. Zoals gezegd is het kostenspoor gericht op het vaststellen van de kosten die zijn gemoeid met het aanpassen (versterken) van waterkeringen om aan nader te bepalen (optimale) beschermingsniveaus te kunnen voldoen, met een daarbij behorende toenemende hydraulische belasting. Het doel van het Kostenspoor binnen het project WV21 is het vaststellen van kostenfuncties voor de beschouwde dijkringen in Nederland. Deze kostenfuncties beschrijven het verband tussen de toename van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) dat de kering moet kunnen weerstaan, en de investeringskosten die nodig zijn om de waterkeringen hieraan aan te passen. De kostenfuncties worden gebruikt in het model OptimaliseRing dat ten behoeve van de ondersteuning van de uitvoering van de MKBA is ontwikkeld. Tevens levert het kostenspoor een inschatting van de extra Beheer en Onderhoudskosten (B&O) die op een traject te verwachten zijn als percentage van de totale investeringskosten.

Het voorliggende rapport beschrijft de wijze waarop het Kostenspoor is opgezet en uitgewerkt en geeft de resultaten van de uitgevoerde kostenberekeningen. Centraal staat de ontwikkeling van de kostenfuncties. De belangrijkste uitgangspunten daarbij zijn:

- Kostenfuncties worden opgesteld voor de primaire keringen, te onderscheiden naar de binnen WV21 gedefinieerde dijkkringtrajecten, zie paragraaf 2.1.
- In de te ontwikkelen kostenfuncties worden de eenmalige investeringskosten vastgesteld als functie van de toename van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) ter plaatse van

de kering. Het bereik van de kostenfuncties dient daarbij minimaal gelijk te zijn aan tweemaal de decimeringshoogte op het HBN. Hiermee wordt gewaarborgd dat in de analyse overstromingskansen kunnen worden beschouwd die minimaal twee ordes kleiner zijn dan de huidige overstromingskansen.

- Bij de te ontwikkelen kostenfuncties wordt in principe rekening gehouden met alle relevante typen waterkeringen.
- Bij de te ontwikkelen kostenfuncties wordt rekening gehouden met alle relevante faalmechanismen, conform de huidige ontwerpcriteria uit de vigerende leidraden.
- Voor de kostenramingen wordt uitgegaan van prijspeil januari 2009.
- Alle in deze rapportage genoemde bedragen zijn exclusief BTW.

1.3 Afbakening

Voor de in de MKBA beschouwde A-keringen worden kostenfuncties opgesteld. Binnen de beschouwde dijkringen betreft het hier het merendeel van de primaire waterkeringen: ca 2500 km, exclusief de duinen. Duinwaterkeringen worden in de MKBA apart beschouwd (zie Kind, 2011), en worden als zodanig niet meegenomen binnen het kostenspoor.

Categorie B-keringen worden binnen de MKBA beperkt meegenomen. B-keringen zijn primaire waterkeringen die voor de dijkringgebieden gelegen zijn en buitenwater keren. In Nederland zijn er 27 van dergelijke keringen met een totale lengte van 155 kilometer. Binnen WV21 worden B-kering opgedeeld in een drietal typen (zie Kind, 2011). Binnen het kostenspoor worden enkel de B-keringen van het type 2 beschouwd, zijnde gesloten B-keringen met daarachter C-keringen. Voor deze B-keringen worden ook kostenschattingen afgegeven. Het ingesloten water wordt niet gezien als een zelfstandige bedreiging en wordt daarom getypeerd als 'binnenwater', hetgeen de C-status van de achterliggende keringen bepaalt. Voor versterking van de categorie C-keringen worden vanuit de MKBA geen kostenramingen gevraagd. Dit geldt tevens voor de zogenaamde secundaire keringen, zoals regionale keringen, boezemkades, kanaaldijken, en dergelijke.

1.4 Uitvoering van het kostenspoor

In het verleden hebben bij Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouw en de Bouwdienst diverse activiteiten plaatsgevonden om te komen tot een meer structurele ontwikkeling van een instrumentarium voor het maken van kostenramingen voor de versterking van waterkeringen en het genereren van kostenfuncties. Deze activiteiten zijn uitgevoerd in het kader van het project KOSWAT (KOSTenraming WATerkeringen). Bij de uitvoering van KOSWAT zijn ook verschillende marktpartijen betrokken geweest.

Het reorganisatieproces binnen Rijkswaterstaat, zoals dat in het afgelopen jaren zijn beslag heeft gekregen, heeft geleid tot een heroriëntatie op de verdeling van taken en verantwoordelijkheden binnen het RWS-apparaat. Op grond hiervan zijn de verdere ontwikkelingen t.a.v. het KOSWAT instrumentarium en het genereren van de kostenfuncties thans ondergebracht bij Deltares. Uit dien hoofde is Deltares de primaire opdrachtnemer voor de uitvoering van het Kostenspoor in opdracht van RWS Waterdienst.

De uitvoering van de activiteiten in het kader van het Kostenspoor heeft plaatsgevonden in de periode van eind 2008 tot het begin 2011. In de periode tot 2010 heeft het accent daarbij gelegen op de verdere ontwikkeling van het benodigde instrumentarium en de inventarisatie van basisgegevens. De verdere analyse en verwerking van basisgegevens, het toepassen

van het instrumentarium voor het tot stand brengen van de gewenste kostenfuncties, en de rapportering van aanpak en resultaten hebben plaatsgevonden in 2010 en 2011.

Bij de uitvoering van de bovengenoemde activiteiten is voortgebouwd op het gebruik van het in het kader van KOSWAT ontwikkelde instrumentarium. Bij de verdere ontwikkeling en invulling van het instrumentarium zijn ook de eerder betrokken marktpartijen ingeschakeld. Dat heeft geleid tot een extern samenwerkingsverband waarbij vertegenwoordigers betrokken waren van Arcadis, DHV, Fugro en BB&C.

Aan dit externe samenwerkingsverband is invulling gegeven door het houden van diverse inhoudelijke werksessies. Tijdens deze werksessies is de basis gelegd voor een aantal aanvullende ontwikkelingen van het bestaande instrumentarium, de verdere specificatie van de te beschouwen maatregelen en de te hanteren ontwerpregels, en de verzameling van de te hanteren basisinformatie. In dit kader zijn door de diverse marktpartijen een aantal concrete bijdragen geleverd aan de verdere ontwikkeling van het instrumentarium en het tot stand brengen van de benodigde gegevensbestanden.

Binnen Deltares zijn diverse units bij de werkzaamheden betrokken geweest. Het project is getrokken door de afdeling Waterveiligheid binnen de unit Zoet Water Systemen (ZWS), projectleider ir. P. de Grave. Door een tweetal andere afdelingen zijn belangrijke inhoudelijke bijdragen geleverd. De unit Bodem en Grondwater Systemen (BGS) van Deltares heeft een zeer belangrijk aandeel gehad in de inventarisatie van de basisgegevens van de bestaande waterkeringen in interactie met de beheerders. Tevens is door BGS een GIS analyse uitgevoerd om de ruimtelijke informatie over aanwezige bebouwing en weginfrastructuur in de invloedzone van de waterkeringen in beeld te brengen. Door de unit Geo Engineering (GEO) van Deltares zijn analyses uitgevoerd voor de bepaling van de afmetingen van de benodigde versterkingsmaatregelen voor de verschillende relevante faalmechanismen. Daarnaast heeft in het kader van de afstemming van de sporen Kansen, Gevolgen en Kosten een intensieve samenwerking en gegevensuitwisseling plaatsgevonden met de unit Verkenningen en Beleidsanalyse (VEB) van Deltares.

1.5 Overzicht en inhoud rapport

Een overzicht van de aanpak van de ontwikkeling van de kostenfuncties en een afbakening van de verschillende inhoudelijke onderdelen is gegeven in hoofdstuk 2 van dit rapport. Deze aanpak wordt concreet uitgewerkt en verder ingevuld voor een drietal onderdelen die min of meer afzonderlijk zijn beschouwd, betrekking hebbend op de maatregelen voor:

- Versterking van het dijklichaam
- Versterking van de dijkbekleding
- Aanpassing van kunstwerken

De aanpak van deze onderdelen heeft vorm gekregen in de ontwikkeling van een aantal afzonderlijke instrumenten die zijn aangeduid als de 'kostenfunctie generatoren'. De beschrijving van de kostenfunctie generatoren voor dijkversterking, dijkbekleding en kunstwerken is aan de orde in de afzonderlijke hoofdstukken 3, 4 en 5. De integrale kostenfuncties komen tot stand op basis van de deelkostenfuncties zoals die voor de bovengenoemde onderdelen worden ontwikkeld. In hoofdstuk 2 zijn de gebruikte gegevensbronnen nader toegelicht.

De resultaten van de ramingen zijn beschreven in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 beschrijft de opzet en resultaten van het uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek.

In aanvulling op dit hoofdrapport is een meer uitgebreide systeemdokumentatie opgesteld van het in het kader van het Kostenspoor ontwikkelde instrumentarium. De systeemdokumentatie geeft een gedetailleerd beeld van de opzet, inhoud en het gebruik van de ontwikkelde kostenfunctie generatoren en de faciliteiten voor het tot stand brengen van de integrale kostenfuncties. Daarbij wordt ook een volledig overzicht gegeven van de opzet en inhoud van de beschikbare gegevensbestanden.

2 Aanpak op hoofdlijnen

In dit hoofdstuk wordt de gevolgde aanpak bij het opstellen van de kostenramingen op hoofdlijnen beschreven. Deze aanpak is in principe geldig voor alle uitgewerkte varianten welke worden beschouwd in de MKBA. In hoofdstuk 7 worden de varianten beschreven en wordt de specifieke invulling per variant nader toegelicht. Voor een uitgebreidere beschrijving van de algemene aannamen geldig binnen het hele project wordt verwezen naar de overkoepelende rapportage Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw van Kind (2011).

2.1 Ruimtelijke schematisatie

Vanuit de MKBA en het programma OptimaliseRing worden kostenfuncties gevraagd op het niveau van dijkkringtrajecten. In deze paragraaf is beschreven hoe deze trajecten zijn vastgesteld, en nader zijn onderverdeeld ten behoeve van de kostenschattingen. Bij de ruimtelijke schematisatie per dijkkring wordt onderscheid gemaakt naar een hiërarchische onderverdeling van de dijkkring in:

- Dijkringdelen
- Dijkkringtrajecten
- Dijkvakken

2.1.1 Dijkringdelen

In principe hangt de omvang van de gevolgen van een overstroming af van de plek waar de waterkering doorbreekt. Als de verschillen in de gevolgen bij doorbraken op verschillende locaties groot zijn, dan kan het zinvol zijn om voor verschillende delen van een dijkkring verschillende beschermingsnormen te bepalen. Daarom is in WV21 een aantal dijkringen onderverdeeld in dijkringdelen (zie De Bruijn, 2011). De volgende situaties zijn aanleiding geweest voor het onderscheiden van dijkringdelen:

- Indien altijd slechts een deel van de dijkkring overstroomt. Als bij doorbraak een deel van de dijkkring niet overstroomt (door, bijvoorbeeld, de aanwezigheid van compartimenten of een helling) kan dat reden zijn om verschillende dijkringdelen te onderscheiden.
- Indien de aard van de bedreiging verschilt. Indien een deel van de dijkkring bedreigd wordt door de zee, en een ander deel door rivieren of meren, of als de dijkkring bedreigd wordt door verschillende rivieren kan dit reden zijn om de dijkkring op te splitsen in meerdere dijkringdelen. De gevolgen van doorbraak kunnen dan immers sterk verschillen; bovendien gaat het dan om onafhankelijke bedreigingen.

In de MKBA worden de afzonderlijke dijkringdelen behandeld als ware het aparte dijkringen. Voor ieder dijkringdeel wordt een economisch optimaal beschermingsniveau bepaald.

Uit de analyse van De Bruijn (2011) blijkt dat op grond van overstromingskenmerken voor 15 dijkringen een onderverdeling in dijkringdelen volgt. Hiervan is voor 11 dijkringen een onderverdeling in twee dijkringdelen gemaakt. Een onderverdeling in drie dijkringdelen is aan de orde bij de dijkringen 14 (Centraal Holland) en 20 (Voorne-Putten). Bij de dijkringen 6 (Friesland-Groningen) en 13 (Noord-Holland) is een onderverdeling in 4 dijkringdelen aan de orde. In totaal worden vanuit de MKBA voor 78 dijkringdelen kostengegevens gevraagd. Een kaart met de ligging van de beschouwde dijkringdelen is te vinden in Bijlage A.

2.1.2 Dijkkringtrajecten

Voor de analyse van de optimale overstromingskansen wordt per dijkkring of dijkkringdeel een onderverdeling gemaakt in verschillende dijkkringtrajecten. De dijkkringtrajecten zijn de ruimtelijke basiseenheden voor de analyses met het model OptimaliseRing die ten grondslag liggen aan de uitvoering van de MKBA. De dijkkringtrajecten vormen daarmee ook het ruimtelijke aggregatieniveau waarvoor de informatie over kansen en kosten in resp. het kansen- en kostenspoor moet worden vastgesteld.

De dijkkringtrajecten worden in eerste instantie bepaald door verschillen in de kenmerken en omvang van de hydraulische belasting. Daartoe wordt een onderscheid gemaakt naar hydraulische regimes op grond van verschillende watersysteemttypen (binnen de hoofdsystemen kust en estuaria, meren en rivieren). Verdere verschillen in de hydraulische belasting worden o.a. veroorzaakt door verschillen in locatie-specifieke maatgevende waterstanden en de invloed van wind en golven in relatie tot de geografische oriëntatie. Dit heeft geleid tot een nadere indeling van dijkkring(delen) in gemiddeld 4 à 5 dijkkringtrajecten. Een praktische beperking daarbij is dat in het model OptimaliseRing op dit moment niet meer dan 10 dijkkringtrajecten per dijkkring of dijkkringdeel kunnen worden beschouwd. Op grond van het bovenstaande geldt dat de indeling in dijkkringtrajecten berust op een generieke indeling die voor alle sporen in de MKBA op uniforme wijze wordt gehanteerd. In totaal zijn binnen de 79 in de MKBA beschouwde dijkkringdelen 203 afzonderlijke dijkkringtrajecten onderscheiden. Kaarten met de ligging van de trajecten zijn te vinden in Bijlage B.

2.1.3 Dijkvakken

Uitsluitend voor de ontwikkeling van de kostenfuncties is binnen de dijkkringtrajecten een nadere indeling gemaakt in dijkvakken op basis van een aantal eigenschappen die specifiek van belang zijn voor de bepaling van de aard en omvang van de benodigde versterkingsmaatregelen. De primair bepalende factoren daarvoor zijn de kenmerken van de bestaande keringen en de bodem- en grondeigenschappen die bepalend zijn voor noodzaak en omvang van te treffen maatregelen ten behoeve van de faalmechanismen door onvoldoende hoogte, opbarsten/piping en macrostabiliteit.

Om de kenmerken van bestaande keringen tot uitdrukking te brengen is aan de beheerders gevraagd om per dijkkringtraject informatie te verschaffen over karakteristieke eigenschappen van dijkprofielen en de deeltrajecten waarvoor die van toepassing zijn. Daarnaast is per dijkkringtraject een nadere indeling gemaakt op grond van de bodemopbouw en op basis van geologische gebiedskennis en gegevens uit de DINO-database van TNO/NITG. Tevens is daarbij gebruik gemaakt van de piping gegevens uit VNK2 die voor ca 50% van de keringen beschikbaar is. Het onderscheid naar deeltrajecten met karakteristieke eigenschappen in combinatie met het onderscheid van deeltrajecten met verschillende bodemopbouw heeft geleid tot de identificatie van de afzonderlijk te beschouwen dijkvakken binnen de dijkkringtrajecten. In totaal zijn 652 dijkvakken onderscheiden.

Ten behoeve van de kostenbepaling wordt per dijkvak verder in detail gekeken naar het voorkomen van specifieke typen keringen in de uitgangssituatie en naar de omgevingskenmerken die bepalend zijn voor de aard en kosten van de te treffen versterkingsmaatregelen (met name de aanwezige bebouwing en infrastructuur). Dat leidt ertoe dat per dijkvak een gedetailleerde inventarisatie wordt gemaakt die afhankelijk van de situatie kan leiden tot verschillende nadere indelingen van het dijkvak. Deze verdere bewerkingen en

opsplitsingen zijn alle uitsluitend van belang voor de uitvoering van de kostenbepalingen binnen het kostenspoor. Op deze zaken wordt ingegaan in par. 4.2.

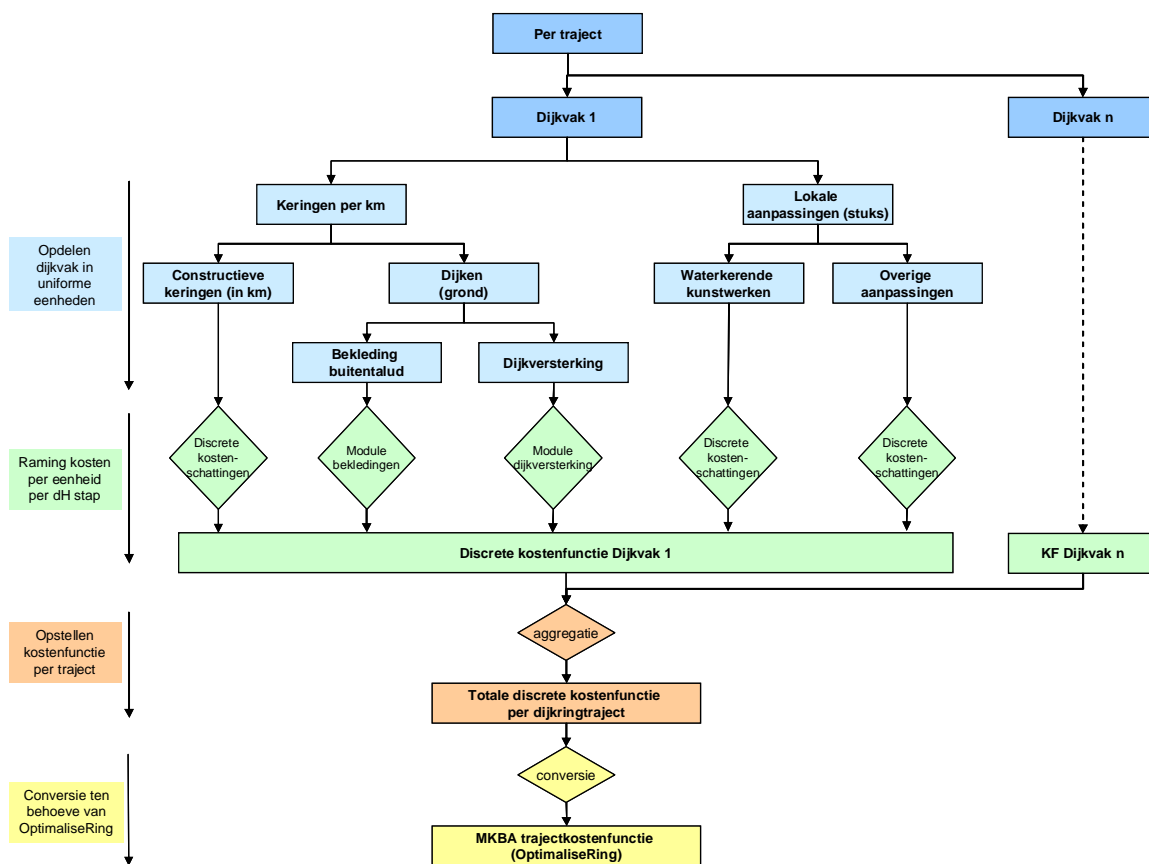
2.1.4 Gehanteerde codering

Voor de codering van de ruimtelijke elementen (dijkringen, dijkringdelen, dijkkringtrajecten en dijkvakken) wordt uitgegaan van het volgende systeem:

- De basis wordt gevormd door de eenduidige en algemeen gehanteerde nummering van de dijkringen en Maaskade gebieden.
- De eventuele dijkringdelen binnen een dijkkring worden voorzien van een eenduidig volgnummer, bijvoorbeeld binnen dijkkring 14: 14-1, 14-2 en 14-3. Als er geen dijkringdelen binnen een dijkkring zijn dan komt het dijkkringdeel overeen met de gehele dijkkring en wordt het aangeduid met volgnummer 1 (bijvoorbeeld: 7-1 is het enige dijkkringdeel binnen dijkkring 7).
- De dijkkringtrajecten binnen dijkringdelen worden eveneens met een volgnummer onderscheiden. Bijvoorbeeld: binnen dijkkring 7 (met 1 dijkkringdeel) zijn er drie dijkkringtrajecten die zijn aangeduid als 7-1-1, 7-1-2 en 7-1-3.
- De dijkvakken binnen een dijkkringtraject worden voorzien van een verdere codering die is gebaseerd op het onderscheid naar representatieve dijkprofielen en bodemtypen. De vakken worden onderscheiden met een code bestaande uit een letter, een cijfer en nog een letter. Voorbeelden van codes binnen traject 7-1-1 zijn 7-1-1-Z-1-A en 7-1-1-Z-1-B. De codes representeren het volgende:
 - Letter 1 voor deel met homogene geologie op basis van de geologische indeling die voor WV21 is gemaakt door units Geo Engineering (GEO, Gerard Kruse) en Bodem- en Grondwatersystemen (BGS, Aleid Bosch). Code = A, B, enz, Indien niet aanwezig: "Z"
 - Cijfer voor deel met homogene geometrie. 1, 2, enz
 - Letter 2 voor deel met homogene geologie op basis van de geologische indeling die voor VNK2 is gemaakt. Code = A, B, enz, Indien niet aanwezig: "Z"

2.2 Aanpak per dijkkringtraject

Een overzicht van de aanpak van de ontwikkeling van de kostenfuncties op hoofdlijnen is gegeven in Figuur 2.1. Deze figuur schetst het algemene proces voor het tot stand brengen van een kostenfunctie voor een dijkkringtraject, het niveau waarop de kostenfuncties uiteindelijk opgeleverd worden ten behoeve van de MKBA.



Figuur 2.1 Ontwikkeling en samenstelling van kostenfuncties per dijktraject

2.2.1 Inventarisatie onderdelen van de waterkering per dijkvak

Een dijktraject bestaat zoals aangegeven over het algemeen uit meerdere dijkvakken. Binnen ieder beschouwd dijkvak wordt vervolgens een onderscheid gemaakt naar twee hoofdgroepen van onderdelen waarvoor afzonderlijke kostenbepalingen plaatsvinden. De eerste groep heeft betrekking op de typen keringen die als waterkerende delen met een bepaalde lengte worden onderscheiden. Bij de tweede groep gaat het om lokale objecten (waterkerende kunstwerken, en andere specifieke aanpassingen, zoals bijvoorbeeld wegkruisingen), die 'per stuk' kunnen worden beschouwd. Binnen de eerste groep kan verder onderscheid gemaakt worden naar keringen die uitsluitend bestaan uit een grondlichaam (de reguliere dijken) en naar keringen waarbij al in de uitgangssituatie sprake is van een soort van langsconstructies, zoals damwandschermen, boulevard- of kadeconstructies waardoor een voornamelijk constructief karakter ontstaat. In dit verband wordt dus onderscheid gemaakt naar de uitgangssituaties 'grond' en 'constructief'.

2.2.2 Maatregelen en faalmechanismen

Voor wat betreft de bepaling van de kosten van maatregelen van dijken wordt onderscheid gemaakt naar maatregelen voor de dijkversterking zelf (verhoging en verzwaring van het dijklichaam) en maatregelen die betrekking hebben op de bekleding van het buitentalud. Voor de dijkversterking zijn zowel grond- als constructieve maatregelen aan de orde.

Bij de bepaling van benodigde maatregelen voor de aanpassing van keringen wordt rekening

gehouden met verschillende faalmechanismen. Dit zijn de kritische factoren die van toepassing zijn voor het falen van de kering. De beschouwde faalmechanismen zijn:

- De kerende hoogte van de kering in relatie tot het mechanisme overloop/overslag (aan te duiden als 'KH')
- Het optreden van opbarsten/piping als gevolg van het optredend verval in waterstand over de kering en/of beperkingen in de beschikbare kwelweglengte (aan te duiden als 'OP')
- De macrostabiliteit (standzekerheid) van de kering met name door het mogelijke afschuiven van (delen van) het binnentalud (aan te duiden als 'MS')
- De sterkte en stabiliteit van de bekleding van het buitentalud (aan te duiden als 'BB')

Overige faalmechanismen worden als minder dominant beschouwd, of spelen slechts zeer lokaal een rol. De veronderstelling is dat meenemen van deze faalmechanismen niet tot significant extra kosten zouden leiden in de raming.

2.2.3 Totale discrete kostenfuncties per dijkvak

Voor elk van de onderscheiden waterkerende delen en objecten binnen een dijkvak wordt een aparte deelkostenfunctie vastgesteld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende berekeningsmethoden waarvoor een aantal afzonderlijke hulpmiddelen is ontwikkeld. Per onderdeel wordt daarbij rekening gehouden met een aantal belangrijke kenmerken zoals: aard en afmetingen van de kering, hydraulische belasting in relatie tot faalmechanismen, en omgevingskenmerken (bijvoorbeeld de bebouwingssituatie en de aanwezigheid van bestaande infrastructuur). De diverse deelkostenfuncties kunnen tenslotte bij elkaar opgeteld worden om tot een totale vakkostenfunctie te komen.

Omwille van overwegingen binnen het kansenspoor van WV21 is ervoor gekozen de kostenfuncties op te hangen aan de verhoging van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) op de X-as in een aantal discrete stappen, in tegenstelling tot de verhoging van de waterstand wat meer voor de hand lijkt te liggen. Praktisch gezien heeft dit echter geen noemenswaardige gevolgen, aangezien een bepaalde verhoging van de waterstand altijd gepaard gaat met een bepaalde (vaak grotere) verhoging van het HBN. De factor tussen beide toenames wordt bepaald door de decimeringshoogte op het HBN te delen door deze op de waterstand. Zie ook Figuur 7.2.

De overweging om de toename van het HBN op de X-as te zetten is als volgt. In de formule die vanuit het kansenspoor aangeleverd wordt aan de MKBA is de decimeringshoogte een belangrijke parameter. Omdat in de MKBA in de basisvariant (zie paragraaf 7.2.1) wordt gerekend met aftoppen van de maximale rivierafvoer in Duitsland, zal boven een bepaalde frequentie van voorkomen de maatgevende waterstand in het bovenrivierengebied echter nauwelijks verder meer stijgen. De decimeringshoogte op de waterstand zal daarmee afnemen tot vrijwel nul. Dit is zeer onwenselijk voor de berekening van de economisch optimale overstromingskansen binnen de MKBA. Het HBN zal echter bij lagere overschrijdingsfrequenties nog wel verder toenemen, doordat de windsnelheid, en daarmee de golfloop, nog toeneemt. Daarom is gekozen om in de kansfunctie uit te gaan van de decimeringshoogte op het HBN. Dit kan alleen als binnen het kostenspoor ook de verandering van het HBN op de X-as staat, anders worden in de rekensoftware van de MKBA, OptimaliseRing, de verkeerde kosten bij een bepaalde kansreductie bepaald.

De verhoging van het HBN zal zich over het algemeen één-op-één vertalen in toename van de kruinhoogte van de kering. Voor het gemak wordt in deze rapportage daarom vaak gesproken over kruinverhoging en decimeringshoogte op de kruin, waar eigenlijk HBN en decimeringshoogte op het HBN bedoeld wordt. In de gevallen dat het HBN minder dan 0,5m boven de maatgevende waterstand ligt zal deze uitspraak niet geheel correct zijn. In dat geval wordt in praktijk de kruinhoogte namelijk aangepast totdat een minimale waakhogte van 0,5m is bereikt, en hebben het HBN en de kruinhoogte een verschillende betekenis.

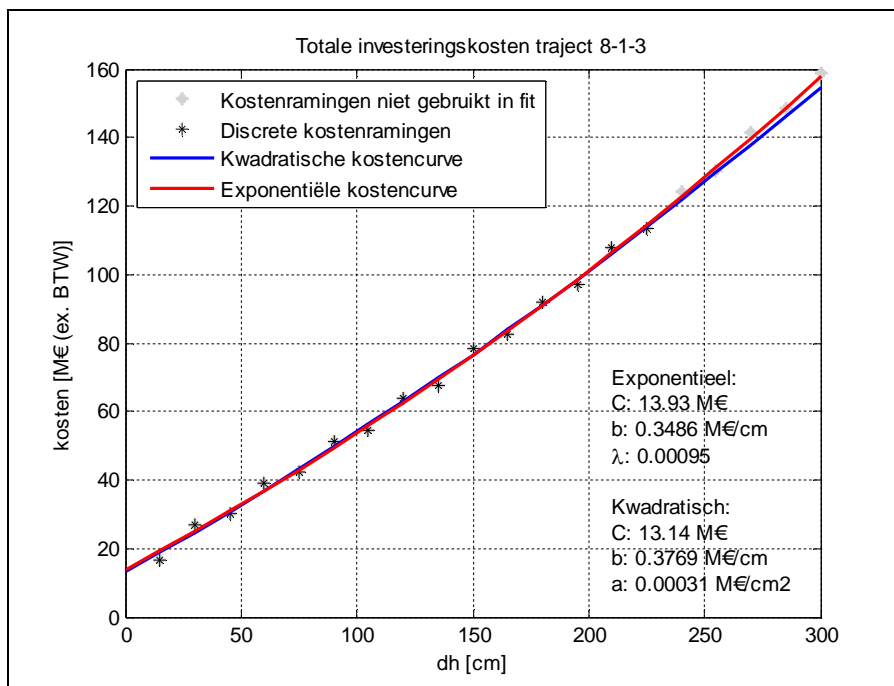
Voor het waarborgen van de eenduidigheid van de verschillende deelfuncties binnen een vak worden volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De verhoging van het HBN wordt op de X-as geplaatst en de berekende kosten op de Y-as.
- Voor de verhoging van het HBN worden 20 discrete stappen van gelijke grootte beschouwd. Voor alle dijkvakken binnen een dijkkringtraject wordt dezelfde stapgrootte gehanteerd, zodat kostenfuncties binnen een traject bij elkaar opgeteld kunnen worden. De stapgrootte tussen dijkkringtrajecten kan verschillen.
- Het bereik van de functie op de X-as is gelijk aan twee maal de decimeringshoogte op het HBN, naar boven afgerond op gehele meters. Hiermee wordt gewaarborgd dat in de MKBA overstromingskansen kunnen worden beschouwd die minimaal 2 ordes kleiner kunnen zijn dan de huidige overstromingskansen.
- Het minimale bereik van de verhoging in absolute zin is 2 m hetgeen leidt tot een minimale stapgrootte van 0,1 m.
- Naast de stapgrootte van verhoging van het HBN moet ook de (bijbehorende) stapgrootte van de maatgevende waterstand worden bepaald zodat voor elke beschouwde kruinverhoging de verhoging van de maatgevende waterstand bekend is. Deze informatie is van belang voor bepaalde onderdelen van de kostenbepaling. Deze informatie wordt afgeleid uit gegevens aangeleverd vanuit het kansenspoor.

De eisen die aan de discretisering van de kostenfuncties worden gesteld zijn medebepalend voor de benodigde gegevens betreffende de hydraulische belasting en de wijze waarop deze informatie voor de dijkkringtrajecten en dijkvakken wordt verwerkt. Hiervoor wordt verder verwezen naar par. 3.2.

2.2.4 Aggregatie naar kostenfuncties per dijkkringtraject

Omdat voor alle vakkostenfuncties die binnen een dijkkringtraject vallen dezelfde stapgrootte wordt gehanteerd in de kostenberekeningen, kunnen de afzonderlijke vakkostenfuncties eenvoudig worden geaggregeerd naar dijkkringtrajectniveau, door ze bij elkaar op te tellen. De trajectkostenfunctie heeft de vorm van een discrete functie waarbij voor een toename van het HBN van de kering in discrete stappen een functiewaarde voor de kosten is gegeven. Een voorbeeld van een discrete kostenfunctie is gegeven in Figuur 2.2, weergegeven met de zwarte en grijze markers. Op de X-as is de dijkverhoging weergegeven, op de Y-as de investeringskosten (excl. BTW).



Figuur 2.2 Voorbeeld trajectkostenfunctie traject 8-1-3

Ten behoeve van het gebruik in het programma OptimaliseRing waarmee de MKBA wordt uitgevoerd, dient de discrete kostenfunctie geconverteerd te worden naar een continue, analytische exponentiële functie binnen de randvoorwaarden die door OptimaliseRing aan de vorm van deze functie worden gesteld. Tevens wordt (omwille van een verwachte beperktere rekentijd) een kwadratische functie ten behoeve van OptimaliseRing afgeleid. Beide continue kostenfuncties worden aangeduid als de MKBA trajectkostenfuncties. Zie voor een verdere onderbouwing waarom juist voor deze functievormen gekozen is Kind (2011).

De exponentiële functie waaraan de kostenfunctie moet voldoen is als volgt gedefinieerd (rode lijn in Figuur 2.2):

$$I(u, W) = (C + b u) e^{\lambda(u+W)}$$

waarin:

- I investeringskosten [M€ exclusief BTW]
- u dijkverhoging [cm]
- W som van eerdere dijkverhogingen [cm]
- C vaste kosten van investeringen uitgaande van de actuele dijkhoogte [M€]
- b variabele kosten van de investeringen uitgaande van de actuele dijkhoogte [M€/cm]
- λ schaalparameter van dijkverhogingen [1/cm]

De kwadratische functie heeft de volgende vorm (blauwe lijn in Figuur 2.2):

$$I(u, W) = (a(u + W)^2 + b u + c)$$

waarin:

- I investeringskosten [M€]
- u dijkverhoging [cm]
- W som van eerdere dijkverhogingen [cm]

- a parameter a van de kwadratische kostenfunctie [$M\text{€}/\text{cm}^2$]
- b parameter b , variabele kosten, van de kwadratische kostenfunctie [$M\text{€}/\text{cm}$]
- c parameter c , vaste kosten, van de kwadratische kostenfunctie [$M\text{€}$]

Om de parameters van de MKBA kostenfuncties te schatten op basis van de discrete ramingen worden de functies gefit met behulp van de kleinste kwadraten methode. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De functie wordt gefit op de discrete ramingen welke zijn afgeleid tot twee maal de decimeringshoogte. De discrete ramingen daarboven worden in de fit niet gebruikt. Hierdoor wordt gewaarborgd dat de fit goed op de ramingen aansluit in het binnen de MKBA relevante deel van de curve. Uit de eerder ten behoeve van WV21 uitgevoerde Kentallen kosten-baten analyse (KKBA, Kind, 2009) blijkt dat een dijkversterkingsronde waarbij ineens meer dan twee decimeringshoogtes versterkt zal worden (factor 100 veiliger) onwaarschijnlijk is.
- De waarden van parameters a en b (beide functies) zijn altijd positief, de vaste kosten op een traject (C) worden gesteld op een minimum van 0,5 M€.
- De parameter λ in combinatie met W zorgt ervoor dat een herhaaldelijk gebruik van de kostenfuncties in OptimaliseRing (wanneer meerdere versterkingsstappen in de tijd aan de orde zijn op een traject) de kosten van de tweede en volgende versterkingen worden verhoogd ten opzichte van de versterkingskosten van de eerste ronde. De variabele W wordt in de schattingen op nul gesteld.
- De waarde van λ is begrensd, op een zodanige wijze dat een bepaalde verhoging van een dijk bij een reeds met één meter verhoogde dijk, niet minder dan 10% en niet meer dan 40% meer kost dan bij een niet verhoogde dijk. De parameter λ ligt daarmee altijd tussen $\ln(1,1)/100$ en $\ln(1,4)/100$.
- De ligging van de gefitte curve ten opzichte van de geschatte kosten is steeds visueel geïnspecteerd.

2.2.5 B&O kosten

Behalve de investeringskosten worden in de MKBA ook de extra jaarlijkse kosten van beheer en onderhoud meegenomen die het verhogen van de kering met zich meebrengen (de kosten die bovenop de kosten van het beheer en onderhoud komen van een niet opgehoogde dijk). Deze worden geraamd als een percentage van de totale investeringskosten. Het gaat hier om de extra kosten van beheer en onderhoud en niet om de totale kosten van beheer en onderhoud. Wanneer de totale kosten van beheer en onderhoud in rekening zouden worden gebracht, dan zou ook rekening gehouden moeten worden dat bij het uitblijven van dit beheer en onderhoud de overstromingskans toenemen, ook bij gelijkblijvende waterstanden. Dat maakt de analyse in de MKBA onnodig complex. Verondersteld wordt dus dat altijd een basisinspanning gepleegd zal worden om de waterkering te beheren en onderhouden.

Voor het onderdeel dijkversterking is de gevolgde procedure om de extra B&O kosten te bepalen beschreven in paragraaf 4.6. Het daarbij berekende B&O percentage varieert met iedere beschouwde verhogingsstap, omdat steeds een andere mix van maatregelen aan de orde is. Er is gekozen om voor de MKBA het B&O percentage te gebruiken dat berekend wordt bij het verhogen van de keringen met één decimeringshoogte.

Voor dijkbekleding en kunstwerken is het extra B&O percentage vastgesteld op 1%. Hierin zit ook een aandeel verwerkt voor de verwachte levensduur van de constructies. Dit is voornamelijk relevant op plekken waar op dit moment nog geen bekleding aanwezig is, en

waar het wel aangelegd wordt bij een veranderende waterstand. Zelfs bij een op den duur in de tijd gelijkblijvende norm zal de bekleding na een bepaalde periode door verouderingsprocessen opnieuw aangebracht moeten worden, of tenminste hersteld moeten worden.

2.3 Overzicht ontwikkelde kostenfunctie generatoren en gegevensbestanden

Op grond van het overzicht van de verschillende typen waterkeringen (zie Figuur 2.1) en de uitgangspunten voor de afbakening van de kostenfuncties zoals beschreven in het voorgaande worden bij de verdere ontwikkeling van de kostenfuncties de volgende hoofdonderdelen onderscheiden:

- Het onderdeel dijkversterking. Binnen dit onderdeel worden alle grond- en constructieve maatregelen beschouwd die betrekking hebben op de verhoging, verzwaring en aanpassing van het bestaande dijkprofiel met uitzondering van de (eventuele) buitenberm en de bekleding van het buitentalud. Het gaat daarbij om zowel de uitgangssituaties 'grond' als 'constructief'. Zie voor een nadere uitwerking hoofdstuk 4
- Het onderdeel versterking dijkbekleding. Dit onderdeel heeft betrekking op alle maatregelen betreffende de aanpassing, uitbreiding en versterking van de bekleding van het buitentalud en de buitenberm, inclusief de eventuele ophoging van de buitenberm. Zie voor een nadere uitwerking hoofdstuk 5.
- Het onderdeel versterking kunstwerken. In dit onderdeel worden alle versterkingsmaatregelen beschouwd die betrekking hebben op de aanpassing van de verschillende typen waterkerende kunstwerken. Zie voor een nadere uitwerking hoofdstuk 6.

Hierbij geldt de volgende toelichting:

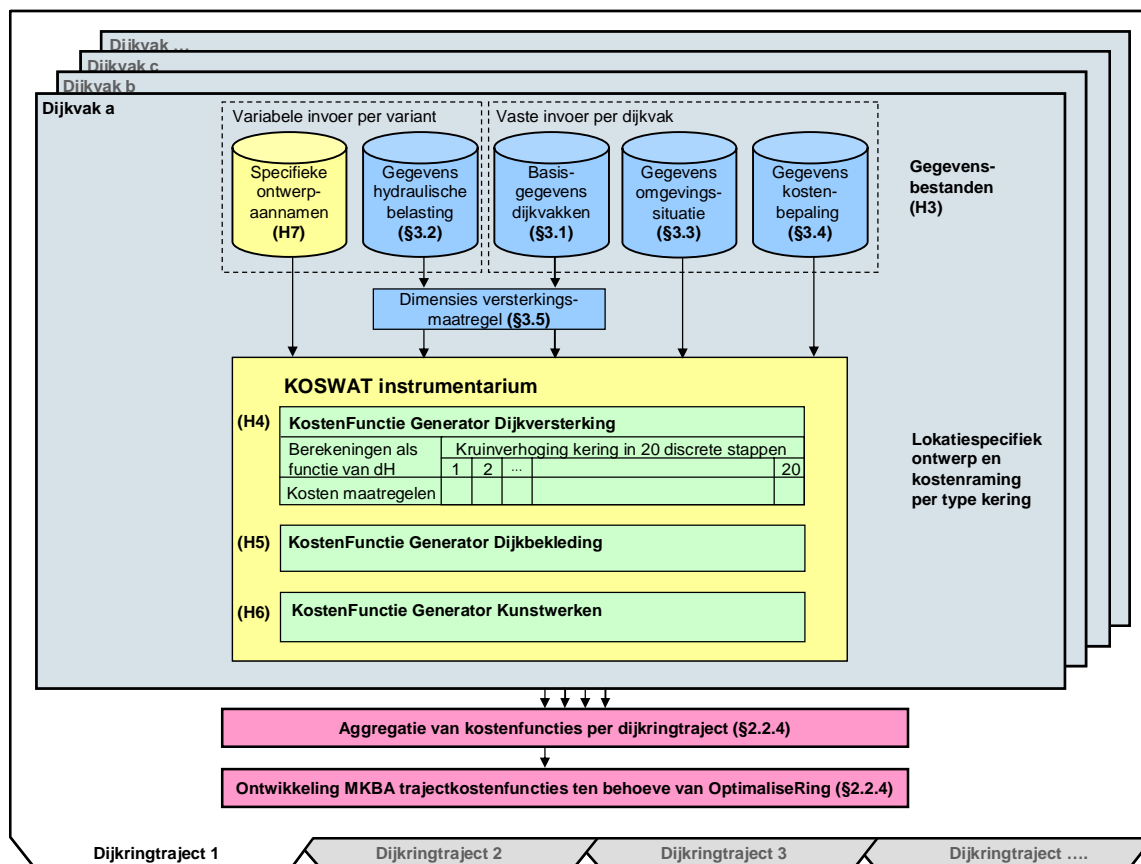
- Maatregelen die betrekking hebben op locale aanpassingen anders dan de waterkerende kunstwerken zijn om praktische redenen meegenomen bij de uitwerking van het onderdeel dijkversterking. Bepaalde aanpassingen vormen daarbij onderdeel van de beschouwde constructieve maatregelen. Daarnaast gaat het met name om de voorzieningen die moeten worden getroffen in het geval van kruisingen van dijken en keringen waarop zich een weg bevindt met bovenliggende infrastructuur.
- Bij de onderdelen dijkversterking en versterking kunstwerken worden de faalmechanismen kerende hoogte (KH), opbarsten/piping (OP) en marostabiliteit (MS) expliciet beschouwd. Het onderdeel versterking dijkbekleding heeft uitsluitend betrekking op het faalmechanisme sterkte en stabiliteit bekleding buitentalud (BB).

Voor de vaststelling van de maatregelen en de bepaling van de kostenfuncties is voor elk van de beschouwde hoofdonderdelen een operationele procedure uitgewerkt die heeft geleid tot de ontwikkeling van een aantal afzonderlijke instrumenten. Deze instrumenten worden aangeduid als de 'kostenfunctie generatoren'. Op grond van het bovenstaande worden de volgende kostenfunctie generatoren onderscheiden:

- De kostenfunctie generator dijkversterking (of kortweg: de KFG Dijkversterking)
- De kostenfunctie generator versterking dijkbekleding (de KFG Dijkbekleding)
- De kostenfunctie generator versterking kunstwerken (de KFG Kunstwerken)

Met behulp van de verschillende kostenfunctie generatoren worden afzonderlijke deeltkostenfuncties ontwikkeld. De uiteindelijke kostenfuncties per dijkvak en dijkkringtraject

worden bepaald door aggregatie van de deelkostenfuncties per dijkvak. De inspanningen binnen het Kostenspoor hebben zich voornamelijk gericht op het tot stand brengen van de verschillende kostenfunctie generatoren en het verzamelen en bewerken van basisgegevens voor het verschaffen van de benodigde invoer voor de verschillende kostenfunctie generatoren. Een samenhangend overzicht van de kostenfunctie generatoren in relatie tot de belangrijkste gegevensbestanden is gegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3 Overzicht kostenfunctie generatoren en gegevensbestanden

Elk van de onderscheiden kostenfunctie generatoren is opgezet volgens dezelfde structuur zoals bepaald door de algemene eisen en uitgangspunten die voor de schematisering en discretisering van de kostenfuncties zijn gedefinieerd. Voor het tot stand brengen van de gewenste invoer voor de kostenfunctie generatoren zijn de volgende basisgegevensbestanden ontwikkeld:

- Basisgegevens dijkvakken
 - Kenmerken dijkvakken (codering, vaklengte, ligging, bodemopbouw, ...)
 - Dimensies representatief dijkprofiel
- Basisgegevens hydraulische belasting
 - Maatgevend Hoog Water (MHW)
 - Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)
 - Decimeringshoogtes waterstand en HBN
- Gegevens over de omgevingsituatie
 - Bebouwing (GIS inventarisatie Top10NL)
 - Wegen (GIS inventarisatie Top10NL)
 - Inventarisatie kunstwerken

- Basisgegevens voor de kostenbepaling
 - Eenheidsprijzen
 - Opslagfactoren
 - Percentages B&O
 - Kostenfuncties kunstwerken per basistype en grootteklasse

Op grond van de verschillende gegevensbestanden hebben per kostenfunctie generator nadere bewerkingen en deelanalyses plaatsgevonden om de specifiek benodigde invoer tot stand te brengen (bijvoorbeeld de RRD analyse – Rationele Risicobenadering Dijken - die is uitgevoerd met de Dijk Analyse Module (DAM) binnen de unit Geo Engineering van Deltares om de benodigde maatregeldimensies voor de KFG dijkversterking te bepalen bij een stijgende waterstand. In de volgende hoofdstukken vindt een nadere beschrijving plaats van de opzet en inhoud van elk van de kostenfunctie generatoren en de wijze waarop de benodigde invoer tot stand is gekomen.

3 Gegevensbestanden

Dit hoofdstuk beschrijft de gegevensbestanden die binnen WV21 worden gebruikt als invoer van de diverse kostenfunctie generatoren. Voor het verzamelen en bewerken van de invoergegevens voor de vaststelling van maatregelen voor dijkversterking en de uitvoering van de kostenberekening is een aanzienlijke inspanning gepleegd. Het gaat hier met name om de volgende typen gegevens:

1. Basisgegevens dijkvakken
2. Basisgegevens hydraulische belasting
3. Gegevens over de omgevingsituatie
4. Basisgegevens voor de kostenbepaling

Een afgeleid product van de basisgegevensbestanden zijn gegevens omtrent de benodigde dimensies van de versterkingsmaatregelen. Deze zijn afhankelijk van de oorspronkelijke dimensies van de dijk, hydraulische gegevens en gegevens omtrent de ondergrond. De gevolgde procedure wordt beschreven in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk.

3.1 Basisgegevens dijkvakken

Op grond van de schematisering in dijkringen, dijkringdelen, dijkkringtrajecten en dijkvakken zijn in totaal 652 dijkvakken onderscheiden (zie par. 2.1.3). Voor het verzamelen van de basisinformatie voor deze dijkvakken is een inventarisatie uitgevoerd door de afdeling BGS van Deltares waarbij de medewerking is gevraagd van de beheerders van alle beschouwde dijkringen. Deze informatie is door BGS verder verwerkt in een Basisbestand Gegevens Dijkvakken.

Het Basisbestand Gegevens Dijkvakken geeft voor elk dijkvak een globaal beeld van de ligging, afmetingen en kenmerken van het dijkprofiel. Daarmee wordt een belangrijke basis verschaft voor de benodigde invoer voor de KFG Dijkversterking (zie hoofdstuk 4). Voor een deel wordt deze informatie rechtstreeks gebruikt in de KFG Dijkversterking; voor een ander deel levert het Basisbestand gegevens toe aan de RRD-analyse (zie paragraaf 3.5), waarvan de resultaten weer worden gebruikt in de KFG Dijkversterking. Tevens zijn in het Basisbestand gegevens opgenomen over de specifieke kenmerken van de dimensies en bekleding van het buitentalud die worden gebruikt voor de KFG Dijkbekleding (zie hiervoor hoofdstuk 5).

In aanvulling op de gegevens zoals opgenomen in het door BGS ontwikkelde Basisbestand heeft binnen het Kostenspoor een aanvullende verzameling plaatsgevonden van een aantal gegevens per dijkvak die specifiek van belang zijn voor de vaststelling van een aantal bijzondere versterkingsmaatregelen en de uitvoering van de kostenberekeningen. Deze aanvullende inventarisatie heeft betrekking op:

1. Het onderscheid naar een aantal grondprijnsregio's en de toedeling van dijkvakken aan de grondprijnsregio's (van belang voor de vaststelling van de te hanteren grondprijzen per dijkvak).
2. De inventarisatie van specifieke delen binnen het dijkvak waarvoor de uitgangssituatie 'constructief' van toepassing is, met daarbij een onderscheid naar 3 mogelijke situaties (CC1: haven- of industrieterrein; CC2: boulevardachtige situaties in industrie- en woonomgeving; en CC3: zeer complexe situaties qua bebouwing en infrastructuur).

3. De inventarisatie van specifieke delen binnen het dijkvak waarvoor de uitgangssituatie op grond van de aanwezigheid en positionering van bebouwing en infrastructuur als 'special' moet worden aangemerkt.
4. Het binnen een dijkvak aanwezige aantal kruisingen van de kering (met daarop een weg) met bovenliggende infrastructuur met een onderscheid maar kruisingen waarvoor een voorziening op basis van een standaard grondoplossing, dan wel een constructieve maatregel moet worden getroffen.

Bij de inventarisatie van de laatste drie typen gegevens heeft vooral de visuele waarneming (op grond van het gebruik van Google Earth) een belangrijke rol gespeeld. Daartoe zijn de ligging en afbakening van de dijkvakken op de kaartbeelden binnen Google Earth geprojecteerd. Gegeven de gehanteerde definities van de verschillende bijzondere onderdelen genoemd onder de punten 2 en 3 (CC en specials) zijn de voorkomende stukken geïdentificeerd en op kaart gemarkeerd. Vervolgens zijn de lengten daarvan (in m) binnen Google Earth bepaald. Het type special is praktisch gedefinieerd als het voorkomen van stukken grondelijk waarbij de naast of in het profiel voorkomende bebouwing en infrastructuur bij elke noodzakelijke ingreep direct de toepassing van een 'kistdamachtige' oplossing noodzakelijk maken.

De inventarisatie van het aantal bovenliggende kruisingen van infrastructuur met de waterkering per dijkvak berust op het uitvoeren van een telling. Gegeven de complexiteit van de ruimtelijke invulling in de omgeving van de kruising is daarbij een oordeel geveld over de mogelijke toepassing van een standaard grondoplossing voor de omleiding van het dijktracé. Op basis daarvan zijn de voorzieningen bij de kruisingen als 'grond' of 'constructief' aangemerkt.

De additionele gegevens per dijkvak die op grond van de bovenstaande inventarisatie zijn verzameld zijn opgenomen in een apart bestand per dijkvak (Additionele Invoer per Dijkvak). Naast het Basisbestand Gegevens Dijkvakken heeft dit aanvullende bestand mede de basis gevormd voor het creëren van het standaard invoerrapport voor de KFG Dijkversterking (zoals opgenomen in het werkblad Invoer).

Naast de gegevens die momenteel voor de bepaling van de kostenfuncties worden gebruikt is in het huidige Basisbestand Gegevens Dijkvakken een hoeveelheid meer gedetailleerde informatie verzameld. Het gaat hier o.a. om meer specifieke informatie over de positionering van dijkvakken en representatieve profielen; de kenmerken van aanwezige sloten; en nadere details over de dijkopbouw. Dit niveau van informatie voert te ver voor de huidige, landsdekkende bepaling van de kostenfuncties maar is mogelijk wel van belang voor toekomstige, meer gedetailleerde analyses. In die zin vormt de opzet van het huidige Basisbestand een belangrijke stap in de ontwikkeling van een volledige, consistente en landsdekkende set van basisgegevens voor alle waterkeringen, die voor verschillende doeleinden kan worden gebruikt. In dit licht zijn ook verdere stappen voorzien om in nauwe interactie met de beheerders tot een verdere invulling en verbetering van de het bestaande Basisbestand te komen.

3.2 Basisgegevens hydraulische belasting

De gegevens per dijkvak over de hydraulische belasting hebben betrekking op de volgende zaken:

- MHW: maatgevende hoog waterstand in m + NAP in uitgangssituatie

- HBN: hydraulisch belastingniveau in m + NAP in uitgangssituatie (basis voor bepaling kruinhoogte dijk)
- Decimeringhoogte van de MHW in m
- Decimeringhoogte van de kruin (HBN) in m
- Factor decimeringhoogte MHW / decimeringhoogte HBN
- Stapgrootte kruinverhoging in m
- Stapgrootte waterstandsverhoging in m

De eerste vier typen gegevens worden bepaald op grond van een berekening van de benodigde gegevens voor het Kansenspoor welke per dijkvak beschikbaar worden gemaakt voor het Kostenspoor. Hiertoe wordt het coördinaat van het representatieve dijkprofiel van een dijkvak gekoppeld aan het Hydra-punt in het kansenspoor dat hier geografisch het dichtste bij ligt, onder de voorwaarde dat dit hydraulisch nog een juiste weergave is van de te verwachten situatie. De factor decimeringhoogte HBN / decimeringhoogte MHW volgt direct uit de decimeringshoogten voor de kruinhoogte (HBN) en MHW. In paragraaf 7 is beschreven op welke manier voor de basisvariant het MHW en het HBN in de uitgangssituatie ter plaatse van een dijkvak is bepaald. Voor de overige varianten zijn aparte hydraulische randvoorwaarden bepaald.

De stapgrootte voor de kruinverhoging is bepalend voor het bereik van de te ontwikkelen kostenfunctie. Daarvoor geldt als uitgangspunt dat het bereik minimaal gelijk moet zijn aan twee decimeringshoogten van de kruinhoogte (zodat een overstromingskans kan worden beschouwd tot twee ordes kleiner dan de huidige overstromingskans). Daarbij wordt 2 m als ondergrens voor het bereik van de as kruinverhoging gehanteerd. Met dit gegeven wordt de te hanteren stapgrootte voor de kruin per dijkvak bepaald door:

Stapgrootte kruin = $\text{MIN}(\text{Afgerond.Naar.Boven}(2 * \text{decimeringshoogte kruin}, 0), 2) / 20$

Dit leidt tot de bepaling van discrete stappen voor de kruinverhoging die niet kleiner zijn dan 0,10 m en altijd veelvoudig zijn van 0,05 m. De grootst voorkomende stapgrootte is daarbij 0,35 m. Voor de stapgrootten voor de kruin worden ook de bijbehorende stapgrootten voor de waterstand bepaald door deling van de stapgrootten kruin door de factor die de verhouding tussen de beide stapgrootten weergeeft. Uiteindelijk wordt voor alle dijkvakken per dijkkringtraject dezelfde stapgrootte gehanteerd. Daarvoor wordt uitgegaan van de maximale stapgrootte die op enig dijkvak binnen een dijkkringtraject wordt gevonden.

De hydraulische gegevens per dijkvak zijn toegevoegd aan het bestand Additionele Invoer per Dijkvak. Per beschouwde variant in de MKBA kunnen deze waarden verschillen. Via de verwerking van dit bestand in de procedure voor het genereren van de invoer per dijkvak wordt de informatie opgenomen in het werkblad Invoer van de KFG Dijkversterking. Daarnaast wordt deze invoer ook direct gebruikt in de RRD-analyse ten behoeve van de berekening van de benodigde dimensies voor de versterkingsmaatregelen gerelateerd aan opbarsten/piping en macrostabiliteit.

3.3 Gegevens omgevingsituatie

3.3.1 Bebouwing en infrastructuur

Voor de vaststelling van de hoeveelheid aanwezige bebouwing en weginfrastructuur in de invloedszone van de versterkingsmaatregel van de kering is door de afdeling BGS van Deltares een inventarisatie uitgevoerd op basis van een landsdekkende GIS analyse voor alle

beschouwde dijkvakken. Dit is gedaan op basis van de TOP10NL topografische kaarten. Deze analyse had betrekking op de bepaling per dijkvak van:

- Het strekkende meters bebouwd gemeten langs de dijkvaklengte als functie van de afstand tot de buitenkruinlijn (in de richting loodrecht op de buitenkruinlijn).
- Het aantal strekkende meters weginfrastructuur dat voorkomt in de zone van het dijkvak landwaarts van de buitenkruinlijn als functie van de afstand tot de buitenkruinlijn (in de richting loodrecht op de buitenkruinlijn).

Van de buitenkruinlijn is de ligging voor alle bestaande primaire waterkeringen in Nederland in principe bekend. Deze is vastgelegd in het dijkkringlijnenbestand van RWS.

Bebouwing

Met bebouwing wordt bedoeld op de aanwezigheid van in principe alle vormen van bestaande bebouwing gekoppeld aan wonen en bedrijvigheid, zoals deze op de TOP10NL kaarten zijn vastgelegd. De aanwezigheid van bebouwing in de invloedzone van de kering is direct bepalend voor de ruimte die beschikbaar is voor uitbreiding van de kering, aangezien in de uitgangspunten is gesteld dat bestaande bebouwing niet gesloopt wordt, maar gekozen wordt voor een constructieve oplossing ter plaatse.

De analyse voor de bepaling van het bebouwingspercentage is uitgevoerd door in een GIS applicatie in langsricting langs de dijkkringlijn te lopen in discrete stappen van 1 meter, en daarbij voor iedere stap tot 200 m landinwaarts (in stappen van 5 m) te analyseren waar exact bebouwing wordt aangetroffen. Resultaat van deze exercitie is een tabel waarin het aantal rijen overeenkomt met de lengte van het beschouwde dijkvak in meters. In 40 kolommen overeenkomend met de afstandsstappen van 5 tot 200 m is daarbij met 0-en en 1-en aangegeven of in het desbetreffende vakje bebouwing is gevonden.

Op dit basisbestand zijn een aantal bewerkingen toegepast om het geschikt te maken voor gebruik in de KFG Dijkversterking. Allereerst is in langsricting per bufferafstand een bewerking uitgevoerd om gaten in de analyse kleiner dan 20 meter 'dicht te smeren'. Ten aanzien van de raming komt het er daarmee op neer dat wanneer voor twee afzonderlijke delen langs het dijkvak een constructieve oplossing zou worden gevonden, die minder dan 20 meter van elkaar af liggen, de constructie over dit stuk automatisch wordt doorgetrokken. Vervolgens zijn de bestanden cumulatief gemaakt in dwars, en vervolgens in langsricting, waarna een interpolatie heeft plaatsgevonden in dwarsricting om de toename van de hoeveelheid bebouwing voor iedere meter uit de kruinlijn te kunnen bepalen, in plaats van de geanalyseerde stappen van 5m.

Wat resulteert is per dijkvak een overzicht van de aanwezige bebouwing zoals weergegeven in de eerste twee kolommen van Tabel 3.1. De weergave van de informatie voor toenemende afstand van de buitenkruinlijn is cumulatief (en kan neemt dus toe met toenemende afstand). De waarde die wordt gevonden als het verschil tussen twee verticale afstandsstappen geeft de hoeveelheid aan die in de zone tussen de twee afstandsstappen wordt aangetroffen. De ruimtelijke analyse is niet relevant voor de deeltrajecten van het dijkvak die in de uitgangssituatie als constructief zijn aangemerkt (de deeltrajecten CC1, CC2 en CC3). Dit is tot uitdrukking gebracht door deze stukken direct al op de buitenkruinlijn zelf (de 0-lijn) als 'bebouwd' aan te duiden. De bebouwingsobjecten die zich landwaarts van de stukken CC bevinden spelen daarmee in de verdere analyse geen rol.

Infrastructuur

Met infrastructuur wordt bedoeld op de aanwezige weginfrastructuur, inclusief alle aansluitingen, op- en afritten. De consequentie van het aanwezig zijn van weginfrastructuur op of in de uitbreidingszone van de kering is dat de bestaande infrastructuur bij aanpassing of uitbreiding van de kering moet worden verplaatst (verwijderd en opnieuw aangelegd).

Voor de bepaling van de weglengten is per discrete afstandsstap (van 0 tot 200 meter in stappen van 5 meter) vastgesteld hoeveel lengte weginfrastructuur binnen de afstandsstap over het gehele dijkvak voorkomt. Daarbij is onderscheid gemaakt naar een aantal wegtypen, onderscheiden naar breedteklassen, als volgt:

- Wegtype 1 (fietspad): breedteklasse 0-2 m
- Wegtype 2 (tertiair): breedteklasse 2-4 m
- Wegtype 3 (secundair): breedteklasse 4-7 m
- Wegtype 4 (autoweg/autosnelweg): breedteklasse > 7 m
- Wegtype 5: breedte onbekend

Op grond van de lengte per wegtype wordt met gebruikmaking van een nader te definiëren gemiddelde breedte een oppervlakte vastgesteld. Op grond van de te verplaatsen oppervlakten kunnen vervolgens de kosten van het verplaatsen van de weginfrastructuur worden vastgesteld.

Tabel 3.1 geeft een illustratie van de informatie zoals die per dijkvak op basis van de GIS analyse is bepaald.

| Afstand van buitenkruinlijn | Percentage bebouwd | Lengte aanwezige weginfrastructuur (m) per type weg | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | LW ₁ | LW ₂ | LW ₃ | LW ₄ | LW ₅ |
| 0 m | PBB(0) | | | | | |
| 1 m | PBB(1) | LW ₁ (1) | LW ₂ (1) | LW ₃ (1) | LW ₄ (1) | LW ₅ (1) |
| 2 m | PBB(2) | LW ₁ (2) | LW ₂ (2) | LW ₃ (2) | LW ₄ (2) | LW ₅ (2) |
| ... | | | | | | |
| 200 m | PBB(200) | LW ₁ (200) | LW ₂ (200) | LW ₃ (200) | LW ₄ (200) | LW ₅ (200) |

Tabel 3.1 Overzicht resultaat GIS analyse

De resultaten van de GIS analyse per dijkvak worden via de procedure voor het genereren van de invoer voor elk dijkvak toegevoegd aan het werkblad Invoer van de KFG Dijkversterking.

3.3.2 Kunstwerken

In de eerste helft van 2009 is door de Grontmij in opdracht van Rijkswaterstaat een landsdekkende inventarisatie gemaakt van de waterkerende kunstwerken in Nederland. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de typen en aantallen kunstwerken volgens deze inventarisatie.

| Typen Kunstwerk | Aantal |
|---------------------------------------------------|-------------|
| Waterkerende kunstwerken | |
| Schutsluis | 138 |
| Inlaatsluis | 69 |
| Spuisluis/uitwateringssluis | 108 |
| Keersluis | 69 |
| Coupure | 288 |
| Kokervormige constructies door waterkering | |
| Overstort | 31 |
| Gemaal | 301 |
| Duiker | 349 |
| Hevel | 31 |
| Leidingen | 459 |
| Doorlaatmiddel | 1 |
| Tunnel | 22 |
| Bijzondere waterkerende constructies | |
| Demontabele wand | 76 |
| Klepkering | 5 |
| Kwel- of stabiliteitsscherm | 6 |
| Schotbalkkering | 27 |
| Keermuur | 48 |
| Kistdam | 3 |
| Kademuur | 124 |
| Damwand | 42 |
| Hefschuif | 8 |
| Keerwand | 20 |
| Kanteldijk | 2 |
| Stormvloedkering | 7 |
| Waterkerende deur | 36 |
| Overigen | |
| Stuw | 212 |
| Naviduct | 1 |
| Onbekend | 12 |
| Anders | 11 |
| Totaal | 2506 |

Tabel 3.2 Overzicht waterkerende kunstwerken in Nederland

De inventarisatie van kunstwerken volgens Tabel 3.2 wordt beschouwd als de op dit moment meest complete inventarisatie en is daarom gebruik als basis voor de in het Kostenspoor te beschouwen kunstwerken.

3.4 Basisgegevens kostenbepaling

3.4.1 Prijzenbestand Kostenspoor

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen in het kostenspoor van de MKBA WV21 is in samenwerking tussen Deltares en DHV een 'Prijzenbestand Kostenspoor' ontwikkeld. Het Prijzenbestand Kostenspoor geeft een volledig en gestructureerd overzicht van alle benodigde eenheidsprijzen en opslagfactoren die van belang zijn voor de berekeningen in de verschillende kostenfunctie generatoren. Daarbij zijn alle te hanteren eenheidsprijzen

geïdentificeerd door middel van een eenduidige codering en is ook van alle prijzen een duidelijke definitie en onderbouwing gegeven. Zie voor een uitgebreide beschrijving van het prijzenbestand Bijlage F.

3.4.2 Kostenbepaling aanpassing kunstwerken

In het kader van het project KOSWAT (KOSTenramingen WATERkeringen) is in het verleden (zie paragraaf 1.4) een aantal inspanningen gepleegd om te komen tot kostenramingen voor de aanpassing van kunstwerken als functie van een toename van de te keren waterhoogte. Ten behoeve van deze ramingen is een protocol ontwikkeld en toegepast dat grote overeenkomst vertoont met de wijze waarop de huidige kostenfuncties voor de MKBA WV21 worden ontwikkeld. Aan de ontwikkeling van dit protocol liggen de volgende uitgangspunten ten grondslag:

- De kostenfuncties zijn ontwikkeld voor discrete verhogingsstappen van de door het kunstwerk te keren waterhoogte in 20 discrete stappen van 0,10 m. Dit leidt tot een bereik van minimaal 2 m waterstandsverhoging.
- Voor de identificatie van maatregelen in relatie tot de toename van de te keren waterhoogte is uitgegaan van de faalmechanismen: kerende hoogte (KH); opbarsten/piping (OP) (met name onder- en achterloopsheid van de constructie); Macrostabieleit (MS): (standzekerheid van gehele constructie inclusief grondlichaam en voorland).
- Bij de ontwikkeling van de kostenfuncties is rekening gehouden met een zekere dH-reserve van de verschillende faalmechanismen in die zin dat doorgaans een bepaalde stijging van de te keren waterstanden kan optreden alvorens uit oogpunt van de verschillende faalmechanismen aanpassings- of versterkingsmaatregelen moeten worden getroffen.
- De opzet en uitvoering van de kostenramingen is gebaseerd op de SSK-systematiek.
- De kostenramingen hebben uitsluitend betrekking op de kosten voor de benodigde aanpassingen van bestaande kunstwerken uit oogpunt van de waterkerende functie.
- De opzet van de kostenraming is gebaseerd op het expliciet onderscheiden van een nader gedefinieerd en gestandaardiseerd overzicht van kostenposten, gekoppeld aan een 'prijzenboek'.

In de tweede helft van 2006 zijn op basis van het ontwikkelde protocol kostenramingen uitgevoerd voor 26 representatieve kunstwerken waarbij een aantal uiteenlopende maatregelen per kunstwerk is beschouwd. Daarbij zijn in totaal ca 175 afzonderlijke kostenramingen gemaakt. Bij deze kostenramingen is ook de situatie beschouwd waarbij het kunstwerk als geheel zou moeten worden vervangen. Binnen de 26 kunstwerken is een onderscheid gemaakt naar 6 typen waterkerende kunstwerken als volgt: coupure; gemaal; schutsluis; uitwateringsluis; inlaatsluis en keersluis. Voor elk van deze typen zijn diverse voorbeelden (voor een aantal verschillende grootteklassen beschouwd. Op grond van de uitgevoerde ramingen is voor elk van de kunstwerken een concrete kostenfunctie ontwikkeld. In een vervolgstap is vervolgens een generieke set van kostenfuncties ontwikkeld waarbij de kosten van de concrete verhogingsstappen zijn uitgedrukt als percentage van de vervangingswaarde van het kunstwerk. Daarbij is tevens getracht om de kostenfuncties te veralgemeniseren naar de 6 onderscheiden typen kunstwerken en een viertal grootteklassen als volgt: klein; middel; groot en 'special'. Het aantal beschikbare kostenfuncties (26) was daarbij niet voldoende om voor elke combinatie van type en grootteklasse direct een representatieve kostenfunctie te kunnen afleiden. In deze gevallen zijn op basis van de

waargenomen trends bij de andere kostenfuncties een aantal aanvullende aannamen gedaan om voor de 6 kunstwerktypen tot een volledig plaatje van generieke kostenfuncties te komen.

3.5 Dimensies van versterkingsmaatregelen

Voor de vaststelling van de noodzaak voor het treffen van maatregelen uit oogpunt van de faalmechanismen opbarsten/piping (OP) en macrostabiliteit (MS) en het verschaffen van de ontwerpaannamen voor de dimensionering van die maatregelen is door de unit Geo Engineering (GEO) van Deltares een afzonderlijke analyse uitgevoerd met de Dijk Analyse Module (DAM), gebruik makend van de zogenoemde Rationele Risicobenadering Dijken (RRD) systematiek.



Figuur 3.1 Overzicht dijkringtrajecten die niet (oranje) en mogelijk wel (blauw) gevoelig zijn voor opbarsten/piping en macrostabiliteit

Als eerste stap in deze analyse is een onderscheid gemaakt naar dijktrajecten die wel/niet gevoelig kunnen zijn voor de faalmechanismen OP en MS. Deze analyse is gebaseerd op een globale inventarisatie van de kenmerken van bodemopbouw en grondgesteldheid in combinatie met de hydraulische belastingsituatie, hetgeen heeft geleid tot een onderscheid van alle relevante dijkringtrajecten in niet gevoelige trajecten ('oranje' trajecten met een totale lengte van ca 800 km) en mogelijk wel gevoelige trajecten ('blauwe' trajecten met een gezamenlijke lengte van ca 1700 km). Voor alle dijkvakken binnen de mogelijk gevoelige trajecten is een DAM-RRD analyse uitgevoerd. Een overzicht van de niet en mogelijk wel

gevoelige dijkkringtrajecten voor opbarsten/piping en macrostabiliteit is gegeven in Figuur 3.1. In de oranje vakken is wel dijkbekleding meegenomen.

In de DAM-RRD analyse die is uitgevoerd voor de dijkvakken binnen de mogelijk wel gevoelige dijkkringtrajecten (aangegeven in groen) zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. Schematisatie dwarsprofiel van de dijk in de uitgangssituatie
2. Vaststellen te hanteren bodemschematisaties
3. Vaststellen te beschouwen hydraulische scenario's en stabiliteitsfactoren
4. Berekenen minimaal dijkprofiel voor ieder hydraulisch scenario per bodemopbouw

Ad 1. Schematisatie dwarsprofiel van de dijk in de uitgangssituatie

Voor de schematisatie van het dijkprofiel dat in de RRD analyse gebruikt wordt, worden gegevens gebruikt die (per dijkvak) aangeleverd en gevalideerd zijn door de beheerders. Hieronder zijn gegevens met betrekking tot het buitentalud, binnentalud, kruinbreedte, maaiveldligging, en aanwezige (kwel)sloot direct achter de dijk. De door de beheerder aangeleverde kruinhoogtes en gegevens over binnenbermen worden in de analyse niet gebruikt. De te beschouwen kruinhoogtes volgen uit de scenariofiles die opgesteld worden met gegevens uit het kansenspoor, de minimale dimensies van de binnenberm worden in een latere stap per beschouwd hydraulisch scenario berekend.

Ad 2. Vaststellen te hanteren bodemschematisaties

Gegeven de onzekerheden en variabiliteit van de gegevens over de bodem- en grondeigenschappen vindt binnen de dijkvakken een nadere schematisering plaats van de ondergrond waarbij een beperkt aantal bodemopbouwen wordt onderscheiden zowel voor piping als voor macrostabiliteit, met een bijbehorende kans van voorkomen. Alle berekeningen per dijkvak vinden plaats voor de verschillende representatieve bodemopbouwen.

Ad 3. Vaststellen te beschouwen hydraulische scenario's en stabiliteitsfactoren

Om trends te kunnen vaststellen in de noodzakelijke versterkingsmaatregelen (bijvoorbeeld de toename van de berm lengte voor piping gegeven een bepaalde mate van waterstandsstijging), is een brede reeks van hydraulische scenario's doorgerekend. Hierbij is uitgegaan van de hydraulische gegevens behorend bij de basisvariant, zoals deze per beschouwd dwarsprofiel zijn aangeleverd vanuit het kansenspoor van WV21. Dit zijn het Maatgevend Hoog Water (MHW) en het daarbij behorend Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) voor de huidige situatie(/norm), de decimeringshoogte op de waterstand (DHW) en de decimeringshoogte op het HBN of de kruin (DHK).

Op basis hiervan is een 10-tal hydraulische scenario's vastgesteld, zoals weergegeven in onderstaande tabel. Tevens is voor ieder scenario een stabiliteitsfactor vastgesteld, waaraan het berekende profiel bij beschouwing van de stabiliteit getoetst dient te worden. Deze is onder meer afhankelijk van de gehanteerde normfrequentie, maar ok van de lengte van de dijkkring. Gesteld is dat bij een verhoging van de waterstand (en daarmee het HBN) met 1 decimeringshoogte ook getoetst moet worden aan een stabiliteitsfactor behorende bij een 10 maal strengere norm.

| Nr | Waterstand | Hydraulische belasting | Kruinhoogte (incl. waakhoogte) | Stab. Factor |
|----|---------------|------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1 | MHW -1 DHW | HBN -1 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm*10 |
| 2 | MHW - 0,5 DHW | HBN - 0,5 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm*3,16 |
| 3 | MHW - 0,2 DHW | HBN - 0,2 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm*1,58 |
| 4 | MHW | HBN | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm |
| 5 | MHW + 0,2 DHW | HBN + 0,2 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/1,58 |
| 6 | MHW + 0,5 DHW | HBN + 0,5 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/3,16 |
| 7 | MHW + 1 DHW | HBN + 1 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/10 |
| 8 | MHW + 2 DHW | HBN + 2 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/100 |
| 9 | MHW + 3 DHW | HBN + 3 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/1000 |
| 10 | MHW + 4 DHW | HBN + 4 DHK | MIN(waterstand+0,5;HBN) | Norm/10000 |

Tabel 3.3 Overzicht beschouwde hydraulische scenario's DAM-RRD analyse

Ad 4. Berekenen minimaal dijkprofiel voor ieder hydraulisch scenario per bodemopbouw

Uitgaande van de dijkprofielen bepaald in stap 1, worden nu voor iedere hydraulisch scenario uit stap 3 met het DAM-RRD instrumentarium dijkprofielen berekend, gebruik makend van de ondergrondschematisaties voor stabiliteit en piping uit stap 2.

Voor stabiliteit wordt gerekend met de faalmechanismen volgens Bishop en Van, voor piping wordt gebruik gemaakt van het twee-lagen-model van Sellmeijer met de veiligheidsfactoren volgens het huidige VTV 2006. Tevens is voor piping een extra set berekeningen gemaakt ten behoeve van de gedefinieerde tweede referentiesituatie met een nieuwe piping veiligheidsfactoren waarin ook het lengte-effect is meegenomen. Dit brengt nieuwe inzichten die verworven zijn binnen VNK in rekening. Er is hierbij getoetst aan de volgende pipingfactor:

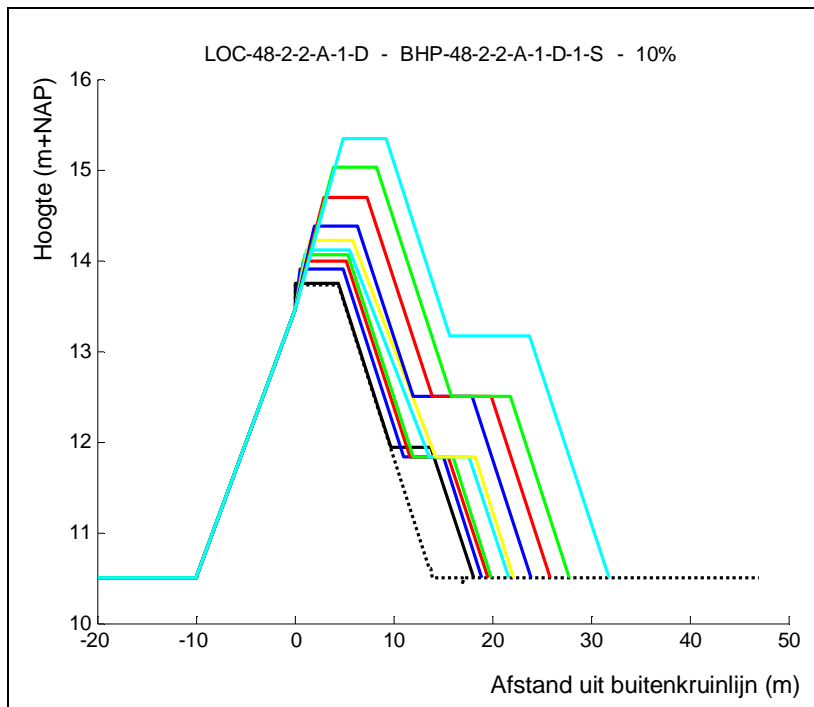
$$P_{adm,dsn} = \frac{0.1 \cdot P(H \geq MHW)}{\left(1 + \frac{\alpha}{l} L\right)}$$

waarin: $P_{adm,dsn}$ toegestane faalkans op doorsnede niveau [-]
 $P(H \geq MHW)$ vereiste beschermingsniveau per gebiedsnorm [1/jaar]
 L pipinggevoelige lengte van de dijkring [m]
 α/l factor 0,0028 (Deltares, 2010, projectnr. 1202123)

De manier waarop deze nieuwe pipinginzichten verwerkt zijn in de kostenfuncties wordt beschreven in paragraaf 7.2.2.

Voor ieder mechanisme wordt voor ieder bodem- en hydraulisch scenario een minimaal benodigd dijkprofiel bepaald, inclusief bermen aan de binnenzijde van het profiel. Visueel kan het resultaat van de DAM-RRD analyse weergegeven worden als in Figuur 3.2. Deze specifieke figuur is geldig voor dijkvak 48-2-2-A-1-D, voor het mechanisme Bishop, met bodemopbouw BHP-48-2-2-A-1-D-1-S, welke voorkomt op 10% van het beschouwde vak. De verschillende gekleurde profielen geven de resultaten bij de verschillende beschouwde hydraulische scenario's weer, oplopend van laag naar hoog.

Te zien is dat naarmate de waterstanden en kruinhoogten toenemen een steeds grotere berm nodig is om te kunnen voldoen aan de gestelde stabiliteitseisen.



Figuur 3.2 Voorbeeld uitvoer DAM-RRD analyse

De manier waarop de resultaten uit de RRD analyse gebruikt wordt in de kostenfunctie generator Dijkversterking wordt beschreven in par. 4.5.2.

4 Methode kostenraming dijkversterking

Dit hoofdstuk beschrijft in algemene zin de methode die binnen WV21 wordt gehanteerd om kosten van dijkversterking te bepalen. Binnen de kosten-baten analyse worden een aantal verschillende scenario's beschouwd, waarvoor aparte kostenramingen opgesteld zijn gebruik makend van deze methode. Dit komt veelal tot uitdrukking in het toepassen van afwijkende hydraulische randvoorwaarden, of het hanteren van een ander dijkprofiel in de uitgangssituatie. Generieke aannames geldig voor alle binnen WV21 beschouwde varianten worden binnen dit hoofdstuk toegelicht. Specifieke aannames geldig voor een specifieke variant komen aan de orde in Hoofdstuk 7.

4.1 Aanpak onderdeel dijkversterking

Binnen het onderdeel dijkversterking worden grond- en constructieve maatregelen beschouwd die betrekking hebben op de verhoging en verzwaring van het bestaande dijkprofiel (ten behoeve van de mechanismen piping en stabiliteit), met uitzondering van de bekleding op het buitentalud. Kosten die niet expliciet in de ramingen aan de orde komen, zoals leidingen en NWO's krijgen een plaats in de opslagfactoren die toegepast worden op de directe bouwkosten om tot totale investeringskosten te komen, zie paragraaf 4.6. De aard en de dimensies van de te beschouwen maatregelen voor dijkversterking wordt door drie factoren bepaald, te weten:

- De uitgangssituatie
- De in het geding zijnde faalmechanismen
- De omgevingsituatie

4.1.1 De uitgangssituatie

Met de uitgangssituatie wordt bedoeld op de aard van de waterkering in de huidige situatie. De standaard situatie is dat daarbij wordt uitgegaan van de aanwezigheid van een dijk bestaande uit een dijklichaam met een binnen- en buitentalud dat is opgebouwd uit grond (doorgaans uit klei of een zandlichaam afgedekt met klei), al of niet voorzien van een (landwaartse) berm. Dit type kering wordt aangeduid als 'gronddijk'. De eventuele aanwezigheid van dijkbekleding op het buitentalud of een buitenberm is voor het onderdeel dijkversterking niet direct van belang omdat de specifieke eigenschappen en opbouw van het buitentalud verder worden beschouwd bij het onderdeel versterking dijkbekleding (zie hoofdstuk 5 van dit rapport). Voor piping wordt uitgegaan van een relatieve toename van de kwelweglengte, en een oplossing aan de landwaartse zijde van de dijk. Wat betreft de aanwezigheid van een landwaartse berm worden bij de uitgangssituatie 'gronddijk' twee profieltypen onderscheiden, te weten profieltype 1 (zonder berm) en profieltype 2 (met berm). Voor de uitgangssituatie gronddijk zijn voor het verhogen en verzwaren van het dijkprofiel twee hoofdtypen maatregelen van toepassing, te weten grondmaatregelen en constructieve maatregelen. Daarbij geldt dat er bij de toepassing van constructieve maatregelen feitelijk altijd sprake is van een combinatie van constructieve maatregelen en grondmaatregelen.

Naast de uitgangssituatie 'gronddijk' wordt de uitgangssituatie 'constructief' beschouwd. Hiermee wordt bedoeld op een situatie waarbij de waterkering niet meer het karakter heeft van een grondlichaam maar feitelijk moet worden beschouwd als een constructief lijnelement. Vaak gaat het hier om situaties waarbij de kering bestaat uit een (verticale) constructie in de vorm van een kade, haventerrein of boulevard. In andere gevallen kan sprake zijn van een

combinatie van constructieve elementen, bebouwingelementen en infrastructuur waarbij de kering als grondlichaam niet meer herkenbaar aanwezig is. Wat deze situaties gemeen hebben is dat de eventueel te treffen maatregelen niet kunnen plaatsvinden in de vorm van een grondversterking, maar noodzakelijkerwijs altijd van constructieve aard moeten zijn. Binnen de uitgangssituatie constructief wordt daarbij onderscheid gemaakt naar een aantal mogelijkheden die een gradatie aangeven van complexiteit, en daarmee van de 'ingrijpendheid' van de te treffen maatregelen.

Een bijzondere vorm van de uitgangssituatie 'constructief' is de situatie waarbij sprake is van een gronddijk waarin een of meer constructieve lijnelementen zijn verwerkt. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de aanwezigheid van een stabiliteitsscherm in het dijklichaam of een kwelscherm in de dijkteen. In deze situatie is de kering feitelijk visueel niet te onderscheiden van een gronddijk. Dit leidt tot de praktische complicatie dat in de inventarisatie van de huidige situatie het onderscheid naar gronddijken met of zonder (over het algemeen niet zichtbare) constructieve elementen niet goed te maken is. In de huidige opzet is daarom niet getracht dit onderscheid te maken en worden gronddijken met of zonder niet zichtbare constructieve elementen beide behandeld als gronddijk. Bij het treffen van maatregelen voor verhoging en verzwaring van de kering is de verwachting dat in het geval van een gronddijk met bestaande constructieve elementen een vervanging van deze elementen zou plaatsvinden. Uit oogpunt van de vaststelling van (de kosten van) maatregelen onderscheidt dit zich niet of nauwelijks van de situatie waarbij deze elementen in de bestaande situatie nog niet zouden zijn aangebracht, maar wel noodzakelijk zijn bij een verdere verhoging of verzwaring van het dijkprofiel. Voor de gronddijk met of zonder constructieve elementen zouden in dat geval dezelfde maatregelen van toepassing zijn. Een voorwaarde hierbij is dat de kenmerken van de kering en zijn omgeving die oorspronkelijk aanleiding waren voor het aanbrengen van constructieve elementen op correcte wijze in de gegevensinventarisatie tot uitdrukking komen zodat dezelfde typen maatregelen ook bij het vaststellen van de noodzakelijke versterkingsmaatregelen naar voren komen. De verwachting is dat dit door de gevolgde procedures voor de gegevensinventarisatie en de bepaling van maatregelen (zie het vervolg van dit hoofdstuk) wordt gewaarborgd.

4.1.2 Omgaan met faalmechanismen

Bij de vaststelling van de benodigde maatregelen voor dijkversterking wordt expliciet rekening gehouden met de faalmechanismen kerende hoogte (KH), opbarsten/piping (OP) en binnenwaartse macrostabiliteit (MS). Deze faalmechanismen zijn enerzijds van belang voor de vaststelling van de aard van de benodigde maatregelen en anderzijds voor de dimensionering daarvan. Gegeven de uitgangspunten zoals gehanteerd binnen WV21 en als gevolg van klimaatverandering (hogere waterstanden door toename rivierafvoer en/of zeespiegelstijging) of bij het beschouwen van hogere veiligheidsnormen is per definitie een verhoging van de kerende hoogte (KH) in het geding. Bij het treffen van maatregelen ter vergroting van de kerende hoogte worden de gangbare ontwerprichtlijnen betreffende de verzwaring van het dijkprofiel in acht genomen. Of er daarnaast aanvullende maatregelen moeten worden getroffen uit oogpunt van de faalmechanismen opbarsten/piping (OP) en macrostabiliteit (MS) is situatie-afhankelijk. In het algemeen wordt dit bepaald door de specifieke gegevens betreffende de bodemopbouw en grondgesteldheid ter plaatse van de kering en het optredende verval over de kering in relatie tot de dimensies van het dijkprofiel.

Voor de vaststelling van de noodzaak voor het treffen van maatregelen uit oogpunt van de verschillende faalmechanismen en het verschaffen van de ontwerpaannamen voor de dimensionering van die maatregelen is door de unit Geo Engineering (GEO) van Deltares een

afzonderlijke analyse uitgevoerd met de Dijk Analyse Module (DAM), gebruik makend van de zogenoemde Rationele Risicobenadering Dijken (RRD) systematiek (zie paragraaf 3.5).

4.1.3 Omgevingssituatie

Een derde, zeer bepalende factor in de vaststelling van de uit voeren maatregelen voor dijkversterking is de omgevingssituatie. De omgevingssituatie heeft betrekking op het ruimtegebruik in de directe omgeving van de waterkering en met name in het gebied waar op grond van de te treffen versterkingsmaatregelen sprake is van een zeker ruimtebeslag. Dit gebied wordt aangeduid als de uitbreidingszone van de waterkering. De uit dit oogpunt relevante omgevingsinformatie heeft betrekking op de aanwezigheid in de uitbreidingszone van:

- Bebouwing voor woonbestemmingen of voor bedrijfsmatige doeleinden
- Weginfrastructuur (wegen, opritten en aansluitingen op of naast de waterkering)
- Specifieke natuur of landschappelijke waarden
- Kruisingen met bovenliggende infrastructuur, leidend tot beperkingen in de verhoging van de kering bij aanwezigheid van een weg op de kering

De uitvoering van bepaalde maatregelen gaat gepaard met een zeker ruimtebeslag, dat afhankelijk is van het type en de 'ingrijpendheid' van de maatregel. In het algemeen geldt daarbij dat grondmaatregelen kunnen leiden tot een (zeer) aanzienlijk extra ruimtebeslag terwijl dat bij constructieve maatregelen doorgaans (zeer) beperkt is. De vergelijking van de per type maatregel benodigde ruimte en de feitelijk beschikbare ruimte in de uitbreidingszone van de kering is daarom allesbepalend voor de uiteindelijke keuze van de te treffen maatregelen. In verband met de mogelijkheden die zich ten aanzien van de verschillende vormen van ruimtebeslag in de uitbreidingszone kunnen voordoen worden daartoe voor de vaststelling van maatregelen en de bepaling van de bijbehorende kosten een aantal belangrijke uitgangspunten gehanteerd.

Het eerste algemene uitgangspunt is dat de benodigde maatregelen voor dijkversterking altijd aan de landzijde van de bestaande kering worden gerealiseerd. In de praktijk is dit ook meestal het geval, zeker in situaties waarin de afvoercapaciteit en het stroomvoerend profiel van watergangen en rivieren niet mag worden verminderd (mede in relatie tot de mogelijke consequenties op de MHW). Er zijn echter ook gevallen waarbij het gezien de ruimtelijke situatie plausibel zou zijn om een versterking aan de waterzijde van de kering uit te voeren (situaties waarbij aan de waterzijde veel ruimte beschikbaar is). Vanuit de totale landelijke analyse voert het echter te ver om bij de ruimtelijke inventarisatie en de vaststelling van maatregelen met deze meer specifieke situaties rekening te houden. In de gevallen waarbij dit relevant is zou de thans gevolgde aanpak kunnen leiden tot een mogelijke overschatting van de kosten.

Waar in de uitbreidingszone van de kering sprake is van het voorkomen van bebouwing met een woonbestemming of bepaalde vormen van bedrijfsvoering is het uitgangspunt dat deze bebouwing gehandhaafd blijft. Dat leidt in voorkomende gevallen tot het treffen van relatief dure, constructieve maatregelen. Het alternatief is dat bestaande bebouwing wordt gesloopt, hetgeen gepaard gaat met kosten voor aankoop, amoveren en eventuele compensaties, bijvoorbeeld van verstoringen in de bedrijfsvoering. In het algemeen gaat het ook hierbij om hoge kosten. Deze kosten zijn in het algemeen veel minder eenduidig te bepalen en er is daarbij ook sprake van vrij grote onzekerheden. In de praktijk is het zo dat met sloop van bestaande bebouwing in ieder geval terughoudend wordt omgegaan mede gezien de

weerstand die hiertegen bestaan en de vereiste, vaak lange procedures. De keuze voor de aanneming dat altijd wordt uitgegaan van het 'sparen' van bestaande bebouwing wordt daarom beschouwd als pragmatisch en realistisch. Het is echter niet uit te sluiten dat deze aanneming in bepaalde gevallen leidt tot een overschatting van de geraamde kosten.

Voor de aanwezige weginfrastructuur die zich bevindt op de bestaande kering of in de uitbreidingszone van de kering is het algemene uitgangspunt dat deze opnieuw wordt aangelegd dan wel wordt verplaatst. Dat houdt in dat de bestaande weginfrastructuur wordt verwijderd en opnieuw wordt aangelegd. De aanwezigheid van weginfrastructuur is dus nooit een reden om uit oogpunt van verminderd ruimtebeslag te kiezen voor 'dure' constructieve maatregelen boven grondmaatregelen.

In geval van aanwezigheid van bijzondere natuur- of landschapswaarden in de uitbreidingszone van de kering is het algemene uitgangspunt dat deze waarden worden gecompenseerd door aankoop en inrichting van grond (natuurterrein) elders. De daarmee gepaard gaande kosten worden bepaald door de omvang van het ruimtebeslag waarvoor de compensatie is vereist en de prijs per m² van aankoop en inrichting elders. De moeilijkheid is hier vooral gelegen in het vaststellen van de locaties en omvang van de trajecten waarvoor dergelijke compensaties zijn vereist.

Ten slotte doet zich met enige regelmaat de situatie voor dat een bestaande kering waarop zich een weg bevindt wordt gekruist door bovenliggende lijninfrastructuur (wegen, bruggen, viaducten, spoorwegen). Ter plaatse van deze kruising kan dan doorgaans geen ophoging plaatsvinden omdat de vereiste vrije ruimte boven de weg in stand moet blijven. Voor deze situaties wordt uitgegaan van de noodzaak voor het treffen van specifieke voorzieningen die leiden tot aanvullende kosten. De standaard oplossing is dat het bestaande dijktracé en de weg ter plaatse van de kruising wordt gehandhaafd en dat een aanvullend stukje dijktracé wordt aangelegd, aansluitend op de verhoogde dijk aan weerszijden van de kruising en op het grondlichaam van de kruisende (hoger liggende) infrastructuur. Afhankelijk van de bebouwingssituatie kan het echter noodzakelijk zijn om een specifieke constructieve (duurdere) maatregel te treffen. Bij de inventarisatie van de omgevingssituatie wordt rekening met het aantal malen dat dergelijke situaties voorkomen. Bij de kostenbepaling worden de extra kosten van de benodigde voorzieningen vervolgens meegenomen op grond van relatief eenvoudige standaardberekeningen.

4.2 Overzicht van specifieke maatregelen

Tabel 4.1 op pagina 37 geeft een overzicht van de beschouwde maatregeltypen voor de verschillende uitgangssituaties (grondrijk en constructief) en voor de verschillende combinaties van faalmechanismen die aan de orde kunnen zijn. Per definitie is een verhoging van de kerende hoogte (KH) altijd van toepassing bij het vaststellen van de kostencurves. In aanvulling daarop kan dan ook een van de faalmechanismen opbarsten/piping (OP) of macrostabiliteit (MS), of een combinatie van beide, aan de orde zijn.

Voor de uitgangssituatie grondrijk worden twee hoofdcategorieën van maatregelen beschouwd, te weten: maatregelen grond (G) en maatregelen grond + constructief (GC), waarbij de laatste bestaan uit een combinatie van grond- en constructieve maatregelen. Voor de uitgangssituatie constructief zijn alleen constructieve maatregelen (C) van toepassing. Het volgende geeft een beschrijving van de specifieke maatregelen binnen deze categorieën.

Grondmaatregelen bij uitgangssituatie gronddijk

- Als alleen het faalmechanisme KH van toepassing is bestaat de maatregel uit het verhogen en verzwaren van het dijkprofiel. Het uitgangspunt is daarbij dat de bestaande taludhellingen (binnen- en buitentalud) en de bestaande kruinbreedte blijft gehandhaafd (maatregel G1.1).
- Bij een combinatie van de faalmechanismen HK + OP wordt in aanvulling op maatregel G1.1 een landwaartse pipingberm aangebracht met voldoende lengte om de vereiste kwelweglengte (is lengte dijkbasis) te bereiken en voldoende hoogte (gewicht) om opbarsten te voorkomen (maatregel G1.2).
- Bij een combinatie van de faalmechanismen HK + MS wordt in aanvulling op maatregel G1.1 een verflauwing van het binnentalud toegepast om de voor de stabiliteit gewenste lengte van de dijkbasis te bereiken (maatregel G1.3). Qua kosten pakt dit min of meer hetzelfde uit als bij aanleg van een berm.
- Bij een combinatie van de faalmechanismen HK + OP + MS wordt in aanvulling op maatregel G1.1 in eerste instantie een verflauwing van het binnentalud toegepast om de voor de stabiliteit gewenste lengte van de dijkbasis te bereiken; vervolgens wordt zonodig een pipingberm toegevoegd indien de voor piping benodigde dijkbasis (kwelweglengte) groter is dan de voor macrostabiliteit benodigde dijkbasis (maatregel G1.4).

Bij aanwezigheid van profieltype 2 (met berm) in de uitgangssituatie zijn in principe dezelfde maatregelen van toepassing (G2.1 t/m G2.4). Bij de combinaties met mechanisme OP gaat het in dat geval om een verlenging van de al bestaande pipingberm, tenzij de voor OP benodigde dijkbasis al door de verhoging en verzwaring van het dijkprofiel, al of niet in combinatie met de verflauwing van het binnentalud, is verkregen. Een illustratie van de principes van de genoemde grondmaatregelen is gegeven in Figuur 4.1.

Combinaties van grond- en constructieve maatregelen bij uitgangssituatie gronddijk

- Als alleen het faalmechanisme KH van toepassing is er sprake van twee mogelijke combinaties. In het eerste geval gaat het om een verhoging van het dijklichaam en een eenzijdige taludversteiling, in combinatie met een enkelvoudige verticale constructie (damwand of diepwand) in het dijklichaam (maatregel GC1.1). Als dat niet voldoende is wordt een kistdam in het dijklichaam aangebracht in combinatie met een verhoging van het dijklichaam en een tweezijdige taludversteiling (maatregel GC1.2).
- Bij een combinatie van de faalmechanismen HK + OP zijn ook de bovengenoemde oplossingen van toepassing. Extra voorwaarde is dan dat door voldoende lengte van de verticale constructie in het dijklichaam (tot in de pipinggevoelige laag) wordt voldaan aan de gestelde eisen betreffende de benodigde kwelwegverlenging. Bij voldoende beschikbare ruimte is hier ook een oplossing mogelijk waarbij een geheel in grond uitgevoerde verhoging en verzwaring van het dijkprofiel (maatregel G1.1) wordt gecombineerd met het aanbrengen van een verticale constructie (CB-wand of damwand) in de dijkteen. Met deze laatste maatregel moet dan de benodigde kwelwegverlenging tot stand worden gebracht (maatregel GC1.3).
- Voor de combinatie van de faalmechanismen HK + MS zijn eveneens de maatregelen GC1.1 en GC1.2 van toepassing. In dat geval moet worden gewaarborgd dat door voldoende lengte van de verticale constructie wordt voldaan aan de eisen die vanuit de macrostabiliteit worden gesteld (aanbrengen verticale constructie tot in de pleistocene laag).
- Voor de combinatie van de faalmechanismen HK + OP + MS zijn wederom de maatregelen GC1.1 en GC1.2 van toepassing, waarbij door de lengte van de verticale

constructie moet worden voldaan aan de gecombineerde eisen die vanuit piping en macrostabiliteit worden gesteld. Bij voldoende beschikbare ruimte is hier ook een oplossing mogelijk waarbij een geheel in grond uitgevoerde verhoging/verzwaring van het dijkprofiel in combinatie met een verflauwing van het binnentalud (maatregel G1.3) wordt gecombineerd met het aanbrengen van een verticale constructie in de dijkteen (maatregel GC1.4).

Bij aanwezigheid van profieltype 2 (met berm) in de uitgangssituatie zijn in principe dezelfde maatregelen van toepassing (GC2.1 t/m GC2.4). Een illustratie van de principes van de genoemde combinaties van constructieve en grondmaatregelen is gegeven in Figuur 4.2.

Constructieve maatregelen bij uitgangssituatie constructief

Voor de uitgangssituatie constructief geldt dat de waterkering niet meer het karakter heeft van een grondlichaam en dat in principe alleen constructieve oplossingen mogelijk zijn. De te beschouwen uitgangssituaties kunnen daarbij, evenals de te beschouwen oplossingen, zeer divers van aard zijn. Om hiermee pragmatisch te kunnen omgaan is een onderscheid gemaakt naar een drietal uitgangssituaties op grond van een indicatie van complexiteit. Voor deze uitgangssituaties wordt vervolgens rekening gehouden met oplossingstypen van toenemende complexiteit en daarmee met toenemende kosten. De uitgangssituaties en oplossingstypen worden daarbij als volgt geduid:

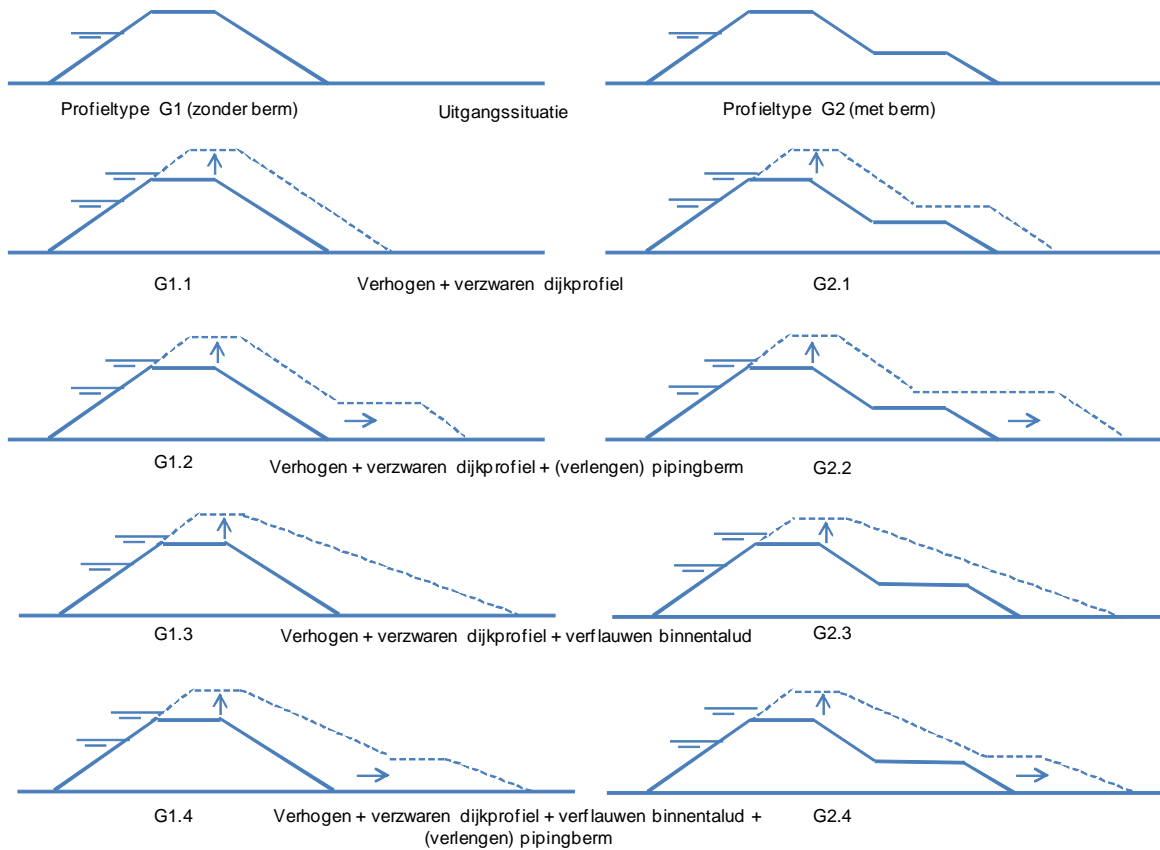
- Haven- of industrieterrein: verticale, kade-achtige situaties waarbij met relatief eenvoudige vaste verticale verhogingsconstructies kan worden gewerkt (maatregeltype CC1).
- Industrie + woonomgeving: min of meer complexe, kade- en of boulevard-achtige situaties waarbij met verschillende verticale verhogingsconstructies kan worden gewerkt, aangevuld met bepaalde specifieke voorzieningen (maatregeltype CC2).
- (Zeer) complexe situaties qua bebouwing en infrastructuur, bijvoorbeeld in combinatie met cultureel/historische waarden of beschermde stadsgezichten, waarbij met combinaties van vaste en tijdelijke verticale verhogingsconstructies en specifieke voorzieningen moet worden gewerkt (maatregel CC3).

In elk van deze gevallen is het binnen de scope van het huidige project niet mogelijk of zinvol om te trachten tot een meer specifieke invulling van de daadwerkelijke maatregelen te komen. Evenmin is het zinvol om in dergelijke situaties te trachten een expliciet onderscheid te maken naar de eisen die vanuit de verschillende faalmechanismen worden gesteld. In veel gevallen zal ook gelden dat, gezien de aard en omvang van de al aanwezige constructies (zoals kaden, boulevards en daarmee geïntegreerde terreinen en bebouwing) de mechanismen opbarsten/piping en macrostabiliteit niet aan de orde zijn. De pragmatische benadering is dat voor de kosten van de hier te beschouwen oplossingen wordt uitgegaan van een relatief dure constructieve oplossing (vergelijkbaar met een kistdam). Voor de situatie met toenemende complexiteit worden deze kosten met een factor verhoogd, zie paragraaf 4.5. In de op deze wijze tot stand te brengen kostenramingen wordt uitsluitend rekening gehouden met de benodigde toename van de kerende hoogte.

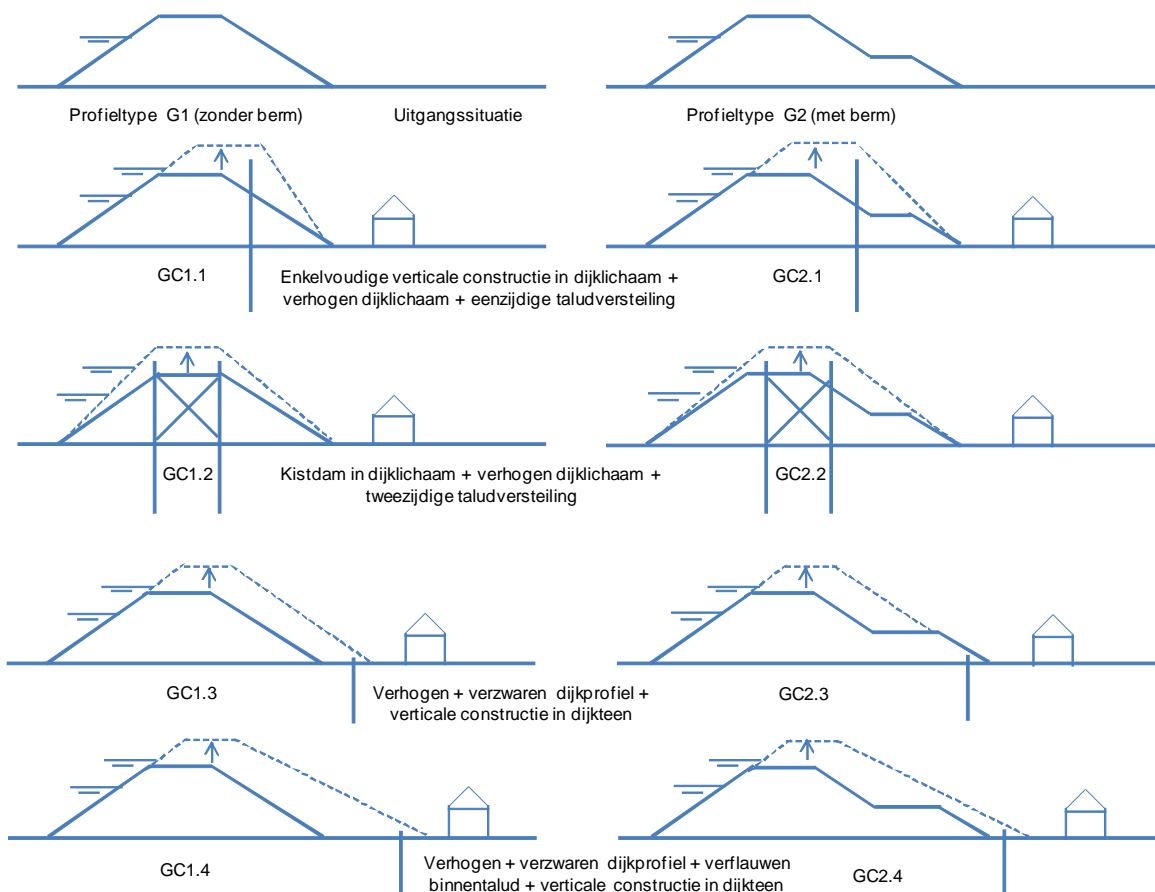
| Uitgangssituatie | | Faalmechanismen van toepassing | | | Maatregel van toepassing | | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Type kering | Nadere omschrijving | KH | OP | MS | Code | Omschrijving | | |
| Maatregelen grond | | | | | | | | |
| Gronddijk | Profieltype 1 (zonder berm) | X | | | G1.1 | Verhogen + verzwaren dijkprofiel | | |
| | | X | X | | G1.2 | G1.1 + aanbrengen landwaartse pipingberm | | |
| | | X | | X | G1.3 | G1.1 + verflauwen binnentalud | | |
| | | X | X | X | G1.4 | G1.3 + aanbrengen landwaartse pipingberm | | |
| | Profieltype 2 (met berm) | X | | | G2.1 | Verhogen + verzwaren dijkprofiel | | |
| | | X | X | | G2.2 | G2.1 + verlengen landwaartse pipingberm | | |
| | | X | | X | G2.3 | G2.1 + verflauwen binnentalud dijkprofiel | | |
| | | X | X | X | G2.4 | G2.3 + verlengen landwaartse pipingberm | | |
| Maatregelen grond + constructief | | | | | | | | |
| Gronddijk | Profieltype 1 (zonder berm) | X | | | GG1.1 | Verhogen dijklichaam + eenzijdige taludversteiling + enkelvoudige verticale constructie in dijklichaam (damwand of diepwand) | | |
| | | | | | GC1.2 | Verhogen dijklichaam + tweezijdige taludversteiling + kistdam in dijklichaam | | |
| | | X | X | | GC1.1 | Zie boven | | |
| | | | | | GC1.2 | Zie boven | | |
| | | X | | | X | X | GC1.3 | G1.1 + verticale constructie in dijkteen (CB-wand of damwand) |
| | | | | | GC1.1 | Zie boven | | |
| | X | X | X | X | X | GC1.2 | Zie boven | |
| | | | | GC1.4 | G1.3 + verticale constructie in dijkteen (CB-wand of damwand) | | | |
| | Profieltype 2 (met berm) | X | | | GC2.1 | Verhogen dijklichaam + eenzijdige taludversteiling + enkelvoudige verticale constructie in dijklichaam (damwand of diepwand) | | |
| | | | | | GC2.2 | Verhogen dijklichaam + tweezijdige taludversteiling + kistdam in dijklichaam | | |
| | | X | X | | GC2.1 | Zie boven | | |
| | | | | | GC2.2 | Zie boven | | |
| X | | | | X | X | GC2.3 | G2.1 + verticale constructie in dijkteen (CB-wand of damwand) | |
| | | | | GC2.1 | Zie boven | | | |
| X | X | X | X | X | GC2.2 | Zie boven | | |
| | | | GC2.4 | G2.3 + verticale constructie in dijkteen (CB-wand of damwand) | | | | |
| Maatregelen constructief | | | | | | | | |
| Constructief | Haven- of industrieterrein | nvt | | | CC1 | Relatief eenvoudige vaste verticale verhogingsconstructies | | |
| | Industrie + woonomgeving | nvt | | | CC2 | Verticale verhogingsconstructies + specifieke voorzieningen | | |
| | Complexe situatie qua bebouwing of infrastructuur (bijv. beschermd stadsgezicht) | nvt | | | CC3 | Complexe vaste of tijdelijke verticale verhogingsconstructies + specifieke voorzieningen | | |

Tabel 4.1 Maatregelen voor verschillende uitgangssituaties en faalmechanismen

Figuur 4.1 geeft een illustratie van de grondmaatregelen volgens Tabel 4.1 (G1.1 t/m G1.4 en G2.1 t/m G2.4). Figuur 4.2 geeft een illustratie van de combinaties van grond- en constructieve maatregelen volgens Tabel 4.1 (GC1.1 t/m GC1.4 en GC2.1 t/m GC2.4).



Figuur 4.1 Grondmaatregelen G1.1 t/m G1.4 en G2.1 t/m G2.4



Figuur 4.2 Combinaties van constructieve en grondmaatregelen GC1.1 t/m GC1.4 en GC2.1 t/m GC2.4

4.3 Vaststelling van toe te passen maatregelen

Voor de feitelijk toe te passen maatregelen dient per situatie een nadere keuze te worden gemaakt uit de principe maatregelen zoals die in Tabel 4.1, en Figuur 4.1 en Figuur 4.2 zijn weergegeven. De hier te maken keuzen worden bepaald door de confrontatie van het voor de verschillende maatregelen benodigde ruimtebeslag versus de feitelijk beschikbare ruimte. Bij dit keuzeprocess wordt gebruik gemaakt van een logische volgorde van de toe te passen voorkeursmaatregelen. De goedkoopste maatregelen worden daarbij het eerste toegepast. Dit zijn in principe ook de maatregelen met het grootste ruimtebeslag (de grondmaatregelen). Met het afnemen van de beschikbare ruimte, c.q. de toename van de benodigde ruimte, is het noodzakelijk om over te gaan op combinaties van constructieve en grondmaatregelen met een afnemend ruimtebeslag. De 'duurste' maatregelen worden daarbij gevonden in de situaties met de minst beschikbare ruimte (of in het geheel geen ruimte). De voorkeursvolgorde van toe te passen maatregelen met afnemend ruimtebeslag en toenemende kosten wordt aangeduid als de 'verdringingsreeks'. Aan deze voorkeursvolgorde is voor de bepaling van de kostenfuncties op de volgende wijze invulling gegeven:

1. Volledige oplossing in grond: dijkverhoging en verzwaring van het dijkprofiel al of niet in combinatie met taludverflauwing of aanleg van een pipingberm. Dit zijn de grondmaatregelen G1.1 t/m G1.4 en G2.1 t/m G2.4 in het overzicht van Tabel 4.1.
2. Verhoging en verzwaring van het dijklichaam in grond in combinatie met het toepassen van een verticale constructie in de binnenwaartse dijkteen (CB-wand of damwand) ter vervanging van de benodigde (verlenging van de) pipingberm. Dit zijn de maatregelen GC1.3, GC1.4, GC2.3 en GC2.4 in het overzicht van Tabel 4.1.
3. Een dijkverhoging in grond in combinatie met een eenzijdige versteiling van het (binnen)dijktalud en het aanbrengen van een enkelvoudig constructief element in het dijklichaam (damwand of diepwand). Dit zijn de maatregelen GC1.1 en GC2.1 in het overzicht van Tabel 4.1.
4. Een dijkverhoging in grond in combinatie met een tweezijdige versteling van het dijktalud en het aanbrengen van een dubbel constructief element (kistdam) in het dijklichaam. Dit zijn de maatregelen GC1.2 en GC2.2 in het overzicht van Tabel 4.1.

De toepassing van deze verdringingsreeks geldt voor de uitgangssituatie gronddijk en is afhankelijk van het aanwezige profieltype (met of zonder berm) en de combinatie van faalmechanismen die aan de orde is. Deze toepassing heeft een dynamisch karakter in die zin, dat het benodigde ruimtebeslag afhankelijk is van de afmetingen van de benodigde maatregelen die worden bepaald door de gewenste verhoging van de kering en de bijbehorende verhoging van de maatgevende waterstand. Bij de ontwikkeling van de kostenfunctie wordt voor de kruinverhoging van de kering uitgegaan van een twintigtal discrete, equidistante verhogingsstappen. Bij elk van deze verhogingsstappen worden de afmetingen en het benodigde ruimtebeslag van de in het geding zijnde maatregelen bepaald. Voor elk van de te beschouwen dijkvakken is daartoe een inventarisatie gemaakt van de beschikbare ruimte. Op grond van deze inventarisatie is voor discrete ruimte-intervallen vastgesteld voor welke lengte van het dijkvak deze ruimte ook daadwerkelijk beschikbaar is (gemeten vanaf de buitenkruinlijn van de bestaande kering). Dit proces leidt ertoe dat met toenemende kruinverhoging (en daarmee toenemende benodigde ruimte voor de mogelijke maatregelen) een geleidelijke verschuiving plaatsvindt van het aandeel van de verschillende maatregelen volgens de stappen 1 t/m 4 van de verdringingsreeks. Het aandeel van de relatief dure maatregelen met weinig ruimtebeslag (hoger in de verdringingsreeks) neemt daarbij toe ten koste van de relatief goedkope maatregelen met veel ruimtebeslag (lager in de verdringingsreeks).

Bij het toepassen van de verdringingsreeks wordt op grond van de beschikbare ruimte tussen de binnenwaartse dijkvoet en de bebouwing een knip gelegd tussen twee situaties:

1. De situatie waarbij in eerste instantie nog met een volledige grondoplossing rekening wordt gehouden.
2. De situatie waarbij er direct al van wordt uitgegaan dat een volledige grondoplossing niet zinvol is en de oplossing moet worden gezocht in een combinatie van constructieve en grondmaatregelen.

Voor situatie 1 is de volledige verdringingsreeks (volgens de stappen 1 t/m 4) van toepassing en kunnen in principe alle maatregelen van de hoofdgroepen G en GC (zie Figuur 4.1 en Figuur 4.2) worden toegepast. Het deeltraject van het dijkvak waarvoor deze situatie van toepassing is wordt aangeduid als het deeltraject 'GGC'. Voor situatie 2 zijn alleen de stappen 2 t/m 4 van de verdringingsreeks van toepassing en worden alleen de maatregelen van de hoofdgroep GC (zie Figuur 4.2) toegepast. Het deeltraject van het dijkvak waarvoor deze situatie van toepassing is wordt aangeduid als het deeltraject 'GC'. De achtergrond

hiervan is de veronderstelling dat, indien niet een zekere minimale ruimte tussen dijkvoet en bebouwing aanwezig is in de praktijk niet voor een volledige grondoplossing zal worden gekozen, ook als dit bij een eerste beperkte verhogingsstap nog wel mogelijk zou zijn (mede met het oog op toekomstige, verdere verhogingen). Het onderscheid tussen deze situaties wordt gemaakt op grond van een flexibel vast te stellen criterium voor de minimaal benodigde, beschikbare ruimte aan de landzijde van de dijkvoet. Op grond van dit criterium ontstaat de mogelijkheid om bij de vaststelling van de kostenfuncties een zekere sturing uit te oefenen op de keuze tussen grond- en constructieve maatregelen. Met de keuzemogelijkheid kan recht worden gedaan aan de wijze waarop daarmee in de praktijk wordt omgegaan.

In de uitgangssituatie gronddijk kunnen zich op delen van het dijkvak situaties voordoen waarbij de bebouwing zich direct aan de binnenwaartse dijkvoet of zelfs binnen het bestaande dijkprofiel bevindt. Voor deze situaties is meteen al duidelijk dat een speciale constructieve oplossing nodig is en het heeft dan ook geen zin om deze delen van het dijkvak binnen de procedure van de 'verdringingsreeks' te beschouwen. De lengten van de onderdelen (deeltrajecten) van het dijkvak waarvoor een dergelijke situatie van toepassing is zijn daarom bij de inventarisatie van de gegevens per dijkvak afzonderlijk bepaald. Voor de vaststelling van de maatregelen en de kostenbepaling van deze deeltrajecten wordt vervolgens uitgegaan van een speciale constructieve oplossing. Daarbij is in principe rekening gehouden met twee gradaties van maatregelen (qua ingrijpendheid). De hier te onderscheiden deeltrajecten worden aangeduid als 'Special1' en 'Special2'. Deze worden in de raming apart beschouwd.

Voor de uitgangssituatie constructief worden de vaststelling van de maatregelen en de kostenraming direct bepaald door de aard van de constructieve trajecten. Hiervoor geldt het onderscheid naar de typen deeltrajecten CC1, CC2 en CC3 zoals in het bovenstaande gedefinieerd (zie beschrijving Tabel 4.1). Ook de lengtes van de deeltrajecten CC1, CC2 en CC3 zijn direct, als onderdeel van de inventarisatie van de gegevens per dijkvak, vastgesteld, zie paragraaf 4.1.1.

Voor de gehele procedure van de vaststelling van maatregelen voor verschillende deeltrajecten per dijkvak leidt dit tot het volgende beeld:

- De totale lengte van het dijkvak is L_{Dijkvak} (m).
- Bepaling van de lengte van de deeltrajecten L_{CC1} , L_{CC2} , L_{CC3} , L_{Special1} en L_{Special2} per dijkvak (m) op grond van een directe inventarisatie. Voor deze deeltrajecten zijn afzonderlijke maatregelen en kostenramingen vastgesteld.
- Bepaling van de lengte van het dijkvak waarvoor geldt dat tussen de landwaartse dijkvoet en de bestaande bebouwing niet wordt voldaan aan het benodigde ruimtecriterium om de toepassing van volledige grondmaatregelen mogelijk te maken (L_{GC} bruto).
- Bepaling van de lengte van het dijkvak waarvoor de verdringingsreeks voor alleen de combinatie van grond- en constructieve (GC) maatregelen van toepassing is (de stappen 2 t/m 4 van de verdringingsreeks). Dit is het deeltraject L_{GC} netto waarvoor geldt: L_{GC} netto is L_{GC} bruto - L_{Special1} - L_{Special2} . De lengtes L_{Special1} en L_{Special2} worden in mindering gebracht omdat voor deze deeltrajecten afzonderlijke maatregelen en kosten, buiten de verdringingsreeks, worden vastgesteld.
- Bepaling van de lengte van het deeltraject waarvoor de volledige verdringingsreeks van toepassing is (alle maatregelen van de hoofdgroepen G en GC). Dit is het deeltraject L_{GGC} , gelijk aan het resterende deel van de dijkvaklengte, als volgt: $L_{\text{GGC}} = L_{\text{Dijkvak}} - L_{\text{CC1}} - L_{\text{CC2}} - L_{\text{CC3}} - L_{\text{GC}}$ bruto.

Een laatste stap bij de vaststelling van de benodigde maatregelen heeft betrekking op de dimensionering van de maatregelen. De dimensionering van maatregelen is gebaseerd op:

- De afmetingen van de kering (het representatieve dijkprofiel) in de uitgangssituatie: het gaat hierbij om de kruinbreedte, de kruinhoogte (t.o.v. ligging maaiveld landzijde); de gemiddelde hellingen van binnen- en buitentalud; en de lengte en hoogte van de (eventuele) binnenberm.
- De eisen die vanuit de van toepassing zijnde faalmechanismen aan de aanpassing van het dijkprofiel worden gesteld als functie van de discrete verhogingsstappen voor de kruinhoogte (en de bijbehorende maatgevende waterstanden). Het gaat hier om: de benodigde kruinverhoging (rekening houdend met een toeslag voor zetting van het profiel); de benodigde toename van de dijkbasis uit oogpunt van opbarsten/piping; de benodigde toename van de dijkbasis uit oogpunt van macrostabiliteit. De beide laatste worden bepaald op grond van de resultaten van de RRD-analyse (zie par. 4.1.2). De dijkbasis is daarbij gedefinieerd als de afstand tussen binnen- en buitenteen van het dijkprofiel op maaiveldhoogte.
- Gegevens over de ligging van de bovenkant van de pipinggevoelige laag en de pleistocene laag (in m + NAP).

Het volgende geeft een overzicht van de wijze waarop de dimensionering van de maatregelen heeft plaatsgevonden.

Grondmaatregelen:

- G1.1/G1.2: verhogen + verzwaren dijkprofiel. Geometrische aanpassing van het profiel op grond van de gegeven kruinverhoging waarbij de bestaande kruinbreedte en taludhellingen worden gehandhaafd.
- G1.3/G2.3: verhogen + verzwaren dijkprofiel in combinatie met verflauwen binnentalud. Na geometrische aanpassing van het profiel op grond van de benodigde verhoging vaststellen in hoeverre een verdere vergroting van de dijkbasis voor macrostabiliteit nodig is. De verflauwing van het binnentalud volgt uit de bestaande helling van het binnentalud; de aangepaste dijkhoogte; en de nog benodigde vergroting van de dijkbasis.
- G1.2/G2.2 en G1.4/G2.4: verhogen + verzwaren dijkprofiel en aanbrengen/verlengen pipingberm (al of niet in combinatie met verflauwen binnentalud). Na de geometrische aanpassing van het profiel op grond van de benodigde verhoging en de eventuele taludverflauwing vaststellen in hoeverre een verdere vergroting van de dijkbasis voor opbarsten/piping nodig is. De lengte (of verlenging) van de pipingberm is gelijk aan de nog benodigde vergroting van de dijkbasis. De hoogte van de pipingberm wordt bepaald door de hoogte van de eventuele aanwezige berm in combinatie met een aantal ontwerpaannamen (hoogte berm in relatie tot kruinhoogte en bermlengte, begrensd door minimum en maximum waarden).

Combinatie van grond- en constructieve maatregelen:

- GC1.1/GC2.1: verhogen dijklichaam + eenzijdige taludversteiling + enkelvoudige verticale constructie in dijklichaam (damwand of diepwand). De kruinverhoging vindt plaats met behoud van de oorspronkelijke kruinbreedte. De taludversteiling volgt uit de vergroting van de binnentaludhelling die nodig is om de verhoging binnen de oorspronkelijke dijkbasis te realiseren, waarbij de buitentaludhelling wordt gehandhaafd. Hierbij wordt voor de eenzijdige versteiling een maximaal toelaatbare helling (minimale waarde van de cotangens) gespecificeerd. Als de maximaal toelaatbare helling wordt bereikt kan de dijkverhoging niet binnen de bestaande dijkbasis worden gerealiseerd en is er sprake van een bepaald benodigd ruimtebeslag. De lengte van het verticale constructieve element

volgt uit de (verhoogde) kruinhoogte en de benodigde verticale lengte onder maaiveld. Voor piping wordt deze lengte bepaald door de ligging van de bovenkant van de pipinggevoelige laag en de benodigde verticale lengte van het deel van de constructie in de pipinggevoelige laag (bepaald door de te realiseren extra kwelweglengte). Voor macrostabiliteit wordt de lengte onder maaiveld bepaald door de ligging van de bovenkant van de pleistocene laag en de benodigde verticale lengte van het deel van de constructie in de pleistocene laag (ontwerpaanname). De keuze tussen damwand en diepwand wordt bepaald door de totaal benodigde verticale lengte van de constructie. De zwaarte van de constructie (en daarmee de te hanteren eenheidsprijs) wordt per type constructie bepaald als een functie van de totale lengte.

- GC1.2/GC2.2: verhogen dijklichaam + tweezijdige taludversteiling + kistdam in dijklichaam. De kruinverhoging vindt plaats met behoud van de oorspronkelijke kruinbreedte. De taludversteiling volgt uit de vergroting van zowel de binnen- en buitentaludhelling die nodig is om de verhoging binnen de oorspronkelijke dijkbasis te realiseren. Uitgangspunt is dat binnen- en buitenhelling daarbij gelijk worden gemaakt. Voor de bepaling van lengte en kostenbepaling van de kistdam worden dezelfde principes gehanteerd als bij de enkelvoudige verticale constructie (damwand of diepwand) voor de maatregel GC1.1/GC2.1. Voor de kistdam wordt daarbij uitgegaan van een aantal standaard breedten die afhankelijk van de kruinbreedte in de uitgangssituatie worden vastgesteld.
- G1.3/G2.3 en G1.4/G2.4: verhogen + verzwaren dijkprofiel, al of niet met verflauwen binnentalud + verticale constructie in dijkteen (CB-wand of damwand). Voor het verhogen + verzwaren van het dijkprofiel en het eventueel verflauwen van het binnentalud zijn de regels van toepassing als genoemd bij maatregelen G1.1/G2.1 en G1.3/G2.3. De verticale lengte van de constructie onder maaiveld wordt bepaald door de ligging van de bovenkant van de pipinggevoelige laag en de benodigde verticale lengte van het deel van de constructie in de pipinggevoelige laag (bepaald door de te realiseren extra kwelweglengte). Uitgangspunt is dat de constructie een klein stukje uitsteekt boven maaiveld (bepaald door een ontwerpaanname). De keuze tussen CB-wand en damwand wordt bepaald door de totaal benodigde verticale lengte van de constructie. De zwaarte van de constructie (en daarmee de te hanteren eenheidsprijs) wordt per type constructie bepaald als een functie van de totale lengte.

Constructieve maatregelen:

- Voor de constructieve maatregeltypen CC1, CC2 en CC3 wordt uitgegaan van standaard maatregelen en kostenramingen. De te hanteren kosten (eenheidsprijzen) per type maatregel zijn daarbij uitsluitend afhankelijk van de benodigde verhoging van de kering.

4.4 Kostenfunctie Generator Dijkversterking

Voor de praktische uitvoering van de kostenberekeningen voor dijkversterking zoals beschreven in voorgaande paragraaf en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak in de gewenste vorm (zie par. 2.2.3) is voor de verschillende typen keringen en versterkingmaatregelen de zogenoemde Kostenfunctie Generator (KFG) Dijkversterking ontwikkeld. De inhoudelijke aanpak zoals die is beschreven in de voorgaande paragraaf is daarbij geconcretiseerd in een instrument gebaseerd op een aantal samenhangende Excel worksheets.

In de KFG Dijkversterking worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het totale pakket aan maatregelen dat uit oogpunt van dijkversterking moet worden getroffen, voor een concrete verhogingsstap

(van de kruinhoogte). Deze berekeningen vinden achtereenvolgens plaats voor 20 discrete verhogingsstappen die de basis vormen voor de te ontwikkelen (deel)kostenfunctie dijkversterking.

Voor een nadere beschrijving van de opzet en de inhoud de KFG Dijkversterking wordt verwezen naar Bijlage C.

4.5 Benodigde gegevens en bewerking

4.5.1 Basisgegevens dijkvakken

Voor het directe gebruik in de KFG Dijkversterking worden de volgende gegevens ontleend aan het Basisbestand Gegevens Dijkvakken:

- De identificatie (codes) van dijkkring, dijkkringtraject en dijkvak
- De lengte van het dijkvak (m)
- De cotangens van de hellingen van binnen- en buitentalud (-)
- De kruinbreedte (m)
- De hoogteligging van het maaiveld binnendijks (m + NAP)
- De binnenbermlengte (m) (indien een berm aanwezig is)
- De hoogteligging van de binnenberm (m +NAP) (indien een berm aanwezig is)

De hoogteligging van de dijkruin in de huidige situatie (in m + NAP) is eveneens in het Basisbestand Gegevens Dijkvakken opgenomen. De dijkhoogte vormt een zeer essentieel gegeven voor de berekeningen in de KFG Dijkversterking. Echter, om binnen de MKBA de consistentie te waarborgen met de gegevens die zijn bepaald voor het Kansenspoor wordt voor de kruinhoogte van de dijk per dijkvak uitgegaan van de kerende hoogte zoals die ten behoeve van de analyse van de kansen is bepaald. Zie ook de beschrijving van de referentiesituatie in hoofdstuk 7.

Binnen de kansanalyse wordt voor elk dijkvak het zogenoemde hydraulische belastingniveau (HBN) vastgesteld. De binnen de KFG Dijkversterking te hanteren kruinhoogte wordt vervolgens gelijk gesteld aan het berekende HBN waarbij een aantal restricties in acht wordt genomen als volgt:

- De kruinhoogte dient minimaal 0,5 m hoger te zijn dan het MHW voor het betreffende dijkvak (minimale waakhoogte)
- De kruinhoogte is minimaal 0,1 m hoger dan het maximum van de hoogteligging van het maaiveld binnen- en buitendijks en de hoogte van de bermen (indien aanwezig).

4.5.2 Aansturing van en verwerking resultaten van RRD-analyse

Zoals beschreven in paragraaf 3.5 is voor 441 van de 652 dijkvakken een RRD (Rationele Risicobenadering Dijken) analyse uitgevoerd met de Dijk Analyse Module (DAM) ontwikkeld door de unit GEO van Deltares. Voor deze vakken is per ondergrondscenario bekend welke maatregelen voor opbarsten/piping en macrostabiliteit getroffen zouden moeten worden bij een toenemende hydraulische belasting. Voor de overige vakken wordt verondersteld dat ten aanzien van deze faalmechanismen geen aanvullende maatregelen nodig zijn wanneer de kruin wordt opgehoogd. Hierbij worden de in aanvang aanwezige kruinbreedte en taludhellingen in stand gehouden.

Aangezien de versterkingsmaatregelen op een dijkvak in de RRD analyse bepaald zijn per ondergrondscenario, welke een bepaalde kans van voorkomen heeft, is een conversieslag nodig om de resultaten te kunnen gebruiken in de KFG Dijkversterking. In principe is immers niet bekend op welke plaats in het dijkvak welk bodemscenario exact voorkomt, terwijl voor de kostenschattingen expliciet naar locatiespecifieke oplossingen wordt gekeken, daar waar het gaat om aanwezige ruimte ter plaatse van bebouwing, en de keuze tussen een grond of constructieve oplossing.

Om rekening te kunnen houden met de verschillende ondergrondscenario's is ervoor gekozen om op een dijkvak uit te gaan van een gemiddelde versterkingsmaatregel zowel voor voor stabiliteit als voor piping. Een goede indicator voor de omvang van de maatregel zowel voor piping als voor stabiliteit is de toename van de dijkbasis die over de verschillende hydraulische scenario's wordt gevonden. Een deel van de toename van de dijkbasis wordt puur veroorzaakt door de ophoging van de kruin (bij instandhouden van de kruinbreedte en de binnen- en buitentaludhellingen), een additioneel deel is toe te schrijven aan het beschouwde faalmechanisme.

Bij het mechanisme macrostabiliteit wordt allereerst per ondergrondscenario gekeken welk van de twee beschouwde mechanismen (Bishop of Van) het maatgevende mechanisme is, dwz welk van de twee mechanismen de grootste toename in dijkbasis laat zien over de beschouwde hydraulische scenario's. Vervolgens wordt per ondergrondscenario voor het maatgevende stabiliteitsmechanisme de trend afgeleid van de toename van de dijkbasis per eenheid van kruinverhoging. Om tenslotte de gemiddelde versterkingsmaatregel van de dijk ten aanzien van stabiliteit per vak te kunnen bepalen wordt over deze toename een gewogen gemiddelde bepaald over de ondergrondscenario's.

Voor het mechanisme opbarsten/piping wordt een zelfde aanpak gevolgd, ware het niet dat hier slechts één berekeningsresultaat beschikbaar is, zodat niet meer gezocht hoeft te worden naar het maatgevende mechanisme. Tevens wordt hier de toename van de dijkbasis opgehangen aan de stijging van de beschouwde waterstand, in tegenstelling tot bij stabiliteit, waar gekeken is naar toename van de kruinhoogte. Het mechanisme opbarsten/piping wordt immers puur gedreven door de buitenwaterstand, terwijl bij macrostabiliteit ook de kruinhoogte van belang is.

Ten aanzien van de kostenschattingen is de verwachting dat het hanteren van een gemiddelde versterkingsmaatregel op een vak over het algemeen recht zal doen aan de berekende investeringskosten (het aantal m² grondaankoop en ook de m³ grond en klei benodigd in de versterkingsmaatregelen worden hiermee gemiddeld goed benaderd). Verwerking van de RRD resultaten op bovenstaande manier levert per dijkvak de invoer voor de KFG dijkversterking. De uitkomsten van de RRD-analyse leveren per dijkvak per stap kruinverhoging (en waterstandsverhoging) voor 20 stappen:

- Benodigde vergroting dijkbasis voor opbarsten/piping (m)
- Benodigde vergroting dijkbasis voor macrostabiliteit (m)

Via de verwerking van de RRD-resultaten in de procedure voor het genereren van de invoer per dijkvak wordt de informatie opgenomen in het werkblad Invoer van de KFG Dijkversterking.

4.5.3 Overzicht systeemaannamen

Voor de uitvoering van de berekeningen dient een kwantificering plaats te vinden van een aantal aannamen die gehanteerd worden bij alle gemaakte berekeningen in het kader van dijkversterking. Deze aannamen worden aangeduid met systeemaannamen. Bij de specificatie van deze systeemaannamen is sprake van een bepaalde onzekerheid. Voor de belangrijkste systeemaannamen is het van belang een beeld te vormen van de mogelijke invloed van de gemaakte keuzen op het eindresultaat van de kostenberekeningen. Voor deze systeemaannamen zullen daartoe de mogelijke gevolgen van de onzekerheden in de gemaakte keuzen op de eindresultaten in een gevoeligheidsonderzoek nader worden bepaald. Dit staat beschreven in Hoofdstuk 1. Hier worden ook de binnen WV21 gehanteerde waarden van de belangrijkste systeemaannamen overzichtelijk op een rij gezet.

Het volgende geeft een overzicht van de gehanteerde systeemaannamen en de wijze waarop deze zijn ingevuld. Daarbij wordt tevens een inschatting gegeven van de systeemaannamen die als de meest belangrijke moeten worden beschouwd.

De systeemaannamen zijn ingedeeld naar een aantal categorieën als volgt:

- Afmetingen en opbouw dijkprofiel. Het gaat hier om de specificatie van een aantal typische dimensiekenmerken en verhoudingen die van toepassing zijn voor een 'standaard' dijkprofiel, zoals: dikte van de grasbekleding en de afdeklaag; minimum en maximum hoogte pipingberm; minimale taludhelling; te hanteren factor voor zetting en klink. Een en ander is ingevuld op basis van gangbare afmetingen en ervaringsgegevens. Voor de meeste zaken wordt de invloed op de eindresultaten beperkt geacht. De schatting van de te hanteren factor voor zetting en klink wordt als de potentieel meest belangrijke aanname beschouwd.
- Afmetingen constructieve oplossingen. Dit betreft een aantal criteria in de zin van minimale en maximale lengten voor de toepassing van en keuze tussen verticale constructie elementen (zoals CB-wand, damwand en diepwand). De invulling heeft plaatsgevonden op basis van algemene ervaringsgegevens. De potentieel meest belangrijke aanname is de maximale verticale lengte die als bovengrens voor de toepassing van verticale constructies wordt gehanteerd.
- Ruimte criterium toepassing constructieve oplossing. Dit criterium geeft aan wat de minimaal beschikbare ruimte landwaarts van de binnenwaartse dijkvoet moet zijn voor toepassing van een volledige grondoplossing. Is minder ruimte beschikbaar dan wordt altijd uitgegaan van een combinatie waarbij constructieve maatregelen worden toegepast. Het criterium is in de basisberekeningen op 5 m gesteld.
- Systeemaannamen voor dijkverlegging en -aansluiting bij kruisingen. Het betreft hier een aantal aannamen voor de bepaling van de dimensies van de te treffen voorzieningen (aanleg van een extra stukje dijktracé) in geval van een kruising van een dijk waarop zich een weg bevindt met bovenliggende infrastructuur. Deze aannamen hebben betrekking op zaken als: lengte van extra dijktracé, breedte en hellingen standaardprofiel. De gemaakte keuzen vallen binnen gangbare waarden maar zijn min of meer arbitrair. Het belang van deze keuzen wordt vrij klein geacht. De potentieel meest belangrijke aanname is de aangenomen lengte van het extra benodigde dijktracé.
- Afmetingen infrastructuur (wegen en opritten) per wegtype. Hier zijn twee grootheden van toepassing: de gemiddelde breedte van de aanwezige (te verwijderen en opnieuw aan te brengen) weginfrastructuur per wegtype; en de mate waarin de aanwezige weginfrastructuur in de uitbreidingszone van de kering ook daadwerkelijk moet worden verplaatst (in verhouding tot de maximaal op het dijkvak voorkomende ruimtebeslag). De

- onzekerheid in het eerste type keuze is beperkt. Het laatst genoemde type keuze wordt als een potentieel belangrijke (nader te onderzoeken) aanname gezien.
- Keuzen moeilijkheidsgraad per type maatregel ten behoeve van bepaling opslagfactoren. Voor de verschillende typen maatregelen en kostenposten kunnen afzonderlijke keuzen worden gemaakt voor de in de kostenberekeningen te hanteren opslagfactoren op basis van de complexiteit van het werk (makkelijk, gemiddeld of moeilijk). Deze keuzen hebben een vrij grote invloed op de omvang van de factoren en daarmee op de berekende kosten. In de huidige berekeningen is uitgegaan van een algemene inschatting. Het lijkt van belang om de invloed van varianten op dit keuzepalet in het gevoeligheidsonderzoek nader te beschouwen.
 - Kostenfactoren ter bepaling kosten bijzondere constructies (CC en Special) in relatie tot kosten kistdam. De kosten van bijzondere (meer complexe) constructies zijn niet bepaald op grond van een concreet gedefinieerd maatregelpakket maar in relatieve zin ingeschat in verhouding tot de kosten van de toepassing van een kistdam (door toepassing van verhoudingsfactoren). Dit is een vrij grove benadering. Het is daarom van belang om de consequenties van de keuze van andere factoren nader te onderzoeken.

4.6 Kostenbepaling

De kostenberekeningen in de KFG Dijkversterking worden uitgevoerd volgens de Standaard Systematiek Kostenramingen (SSK) die binnen het ministerie van V&W algemeen wordt toegepast. De basis voor de kostenbepaling wordt hierbij gevormd door de berekening van een aantal directe kostenposten. Voor de KFG Dijkversterking zijn dit de directe bouwkosten, de kosten voor vastgoed (uitsluitend de verwerving van grond) en de kosten voor compensaties van natuur- en landschapswaarden (LNC-waarden). Voor de berekening van de directe kosten wordt gebruik gemaakt van eenheidsprijzen die betrekking hebben op de specifieke hoeveelheden, handelingen en componenten die samenhangen met de realisatie van het betreffende onderdeel. Voor het omzetten van de directe kosten naar totale (eenmalige) investeringskosten wordt gebruikt gemaakt van opslagfactoren. De opslagfactoren zijn gebaseerd op het beschouwen van een aantal additionele kostenposten die als percentage van de directe kosten worden geraamd (zaken als: diverse algemene kosten, winst, engineering, onvoorzien). Naast de totale investeringskosten worden van de te treffen maatregelen de extra jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (B&O) vastgesteld.

Ten behoeve van de uitvoering van de kostenberekeningen in het kostenspoor van de MKBA WV21 is in samenwerking tussen Deltares en DHV een 'Prijzenbestand Kostenspoor' ontwikkeld. Het Prijzenbestand Kostenspoor geeft een volledig en gestructureerd overzicht van alle benodigde eenheidsprijzen en opslagfactoren die van belang zijn voor de berekeningen in de verschillende kostenfunctie generatoren. Daarbij zijn alle te hanteren eenheidsprijzen geïdentificeerd door middel van een eenduidige codering en is ook van alle prijzen een duidelijke definitie en onderbouwing gegeven. Voor een nadere beschrijving van het Prijzenbestand Kostenspoor wordt verwezen naar Bijlage F.

De specifiek voor de KFG Dijkversterking te hanteren eenheidsprijzen en opslagfactoren zijn opgenomen in het werkblad EP van de KFG Dijkversterking. Deze zijn ontleend aan de informatie zoals die beschikbaar is in het Prijzenbestand Kostenspoor.

Het volgende geeft een korte duiding van de specifieke informatie uit het Prijzenbestand Kostenspoor die in het werkblad EP is opgenomen:

- Eenheidsprijzen grondmaatregelen: de eenheidsprijzen van de grondhoeveelheden en -bewerkingen (per m³ en per m²) die van toepassing zijn bij het aanpassen van het grondprofiel. Dit zijn de maatregelhoeveelheden die in de bij de toepassing van de module Grondmaatregelen Dijkversterking (zie par. C.2) worden onderscheiden.
- Eenheidsprijzen constructieve maatregelen: samengestelde eenheidsprijzen voor de standaard constructieve maatregelen die in het Prijzenbestand Kostenspoor als functie van de verticale lengte van de constructie zijn bepaald.
- Grondprijzen: de grondprijzen (€/m²) zoals die voor verschillende 'grondregio's' en voor de situatie 'bebouwd' en 'onbebouwd' zijn vastgesteld.
- Eenheidsprijzen kosten wegconstructies: de vastgestelde eenheidsprijzen (€/m²) voor het verwijderen en het opnieuw aanbrengen van weginfrastructuur voor vijf wegtypen (breedteklassen).
- Opslagfactoren per type maatregel of kostenpost: de relevante opslagfactoren voor de KFG Dijkversterking zoals in het Prijzenbestand Kostenspoor bepaald, te weten voor de directe bouwkosten van grondmaatregelen (GG); constructieve maatregelen (CG en CC); en vastgoed (grondaankoop). Voor een tweetal constructieve elementen (CB-wand en diepwand) is daarbij ook een lengtecriterium gespecificeerd op grond waarvan wordt bepaald of de opslagfactor voor makkelijk, dan wel gemiddeld moet worden gehanteerd (van makkelijk naar gemiddeld als het lengtecriterium wordt overschreden).

Ten slotte is in het Prijzenbestand Kostenspoor van DHV ook informatie opgenomen over de extra kosten van het jaarlijks benodigd beheer en onderhoud (B&O) als gevolg van de versterkingsmaatregelen (als percentage van de eenmalige investering). Dit is informatie die per traject in de MKBA wordt gebruikt. Deze extra B&O kosten variëren naar gelang een bepaald type versterking wordt toegepast, als volgt:

- Grondmaatregelen: 0,20% per jaar. Slechts geringe extra onderhoudskosten door vergroting van het bestaande profiel.
- Damwand: 0,60%
- Diepwand: 0,30%
- Kistdam: 0,20%
- Voor de kostenposten aanpassing infrastructuur, vastgoed en compensaties (grondaankoop) is het uitgangspunt dat geen extra B&O kosten (boven de al bestaande B&O kosten) ontstaan.

Voor de constructieve maatregelen wordt aan het jaarlijkse percentage B&O kosten een jaarlijks percentage voor afschrijving toegevoegd dat is gebaseerd op een geschatte levensduur van de maatregel van 100 jaar en een discontovoet van 4%. In de MKBA is in een later stadium besloten te rekenen met een discontovoet van 5,5%. Hierdoor is het teruggerekend jaarlijks percentage voor afschrijving in de kostenstudie enigszins overschat.

5 Methode kostenramingen dijkbekleding

Dit hoofdstuk beschrijft in algemene zin de methode die wordt gehanteerd om kosten van het aanpassen of aanleggen van dijkbekleding op het buitentalud te bepalen. Binnen de kostenbaten analyse worden een aantal verschillende scenario's beschouwd, waarvoor aparte kostenramingen opgesteld zijn gebruik makend van deze methode. Dit komt bij bekleding veelal tot uitdrukking in het toepassen van afwijkende hydraulische randvoorwaarden. Generieke aannames geldig voor alle beschouwde varianten worden binnen dit hoofdstuk toegelicht. Specifieke aannames geldig voor een specifieke variant komen aan de orde in Hoofdstuk 7.

5.1 Aanpak onderdeel dijkbekleding

5.1.1 Onderscheid naar hoofd- en subsystemen

Binnen het onderdeel versterking dijkbekleding worden maatregelen beschouwd die betrekking hebben op de aanpassing, uitbreiding en versterking van de bekleding van het buitentalud en de buitenberm, inclusief de eventuele ophoging van de buitenberm.

Voor de vaststelling van de maatregelen en kosten van versterking van de dijkbekleding wordt een onderscheid gemaakt naar drie hoofdsystemen, te weten: Kust/Estuarium, Meer en Rivier. Binnen elk van deze hoofdsystemen wordt een aantal subsystemen onderscheiden, als volgt:

- Kust/Estuaria
 - Waddenzee
 - Zeeuwse Delta.
- Meer:
 - IJsselmeer oude zeedijken
 - IJsselmeer polderdijken
- Rivier:
 - Bovenrivieren
 - Benedenrivieren

De verschillen in de hoofdsystemen hebben vooral betrekking op de uitgangssituatie en de aard van de te beschouwen maatregelen (zie paragraaf 5.1.2) en de daarbij te hanteren uitgangspunten voor het ontwerp (par. 5.1.3). Voor de hoofdsystemen Kust/Estuaria en Meer hebben deze verschillen vooral betrekking op de aard van invoergegevens en in het hanteren van bepaalde ontwerpkeuzen bij de uitvoering van de berekeningen. Wat betreft de aard van de te beschouwen maatregelen en de uit te voeren kostenberekeningen is er echter sprake van dezelfde generieke opzet. Voor het systeem Rivier speelt bekleding een veel minder grote rol en zijn de beschouwde maatregelen en berekeningen veel simpeler. Bij de ontwikkeling en uitwerking van de aanpak wordt het onderscheid naar de drie hoofdsystemen expliciet gemaakt. Dat leidt er ook toe dat bij de ontwikkeling van de Kostenfunctie Generator Dijkbekleding ook drie verschillende versies worden onderscheiden.

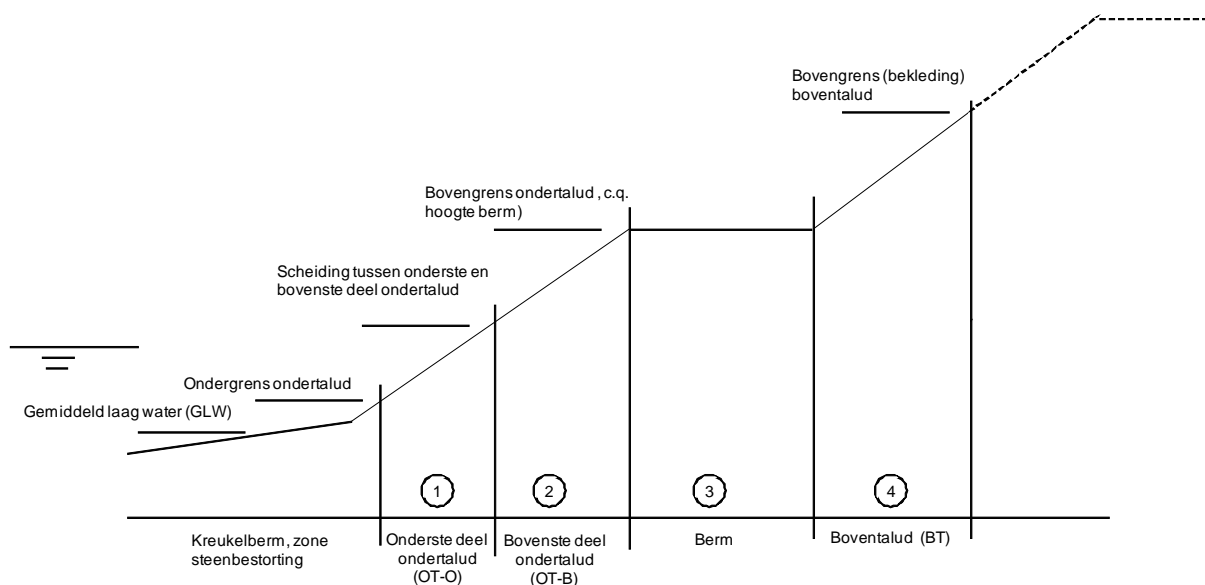
Het onderscheid naar subsystemen wordt alleen *binnen* de drie kostenfunctie generatoren voor de hoofdsystemen gemaakt. Deze verschillen hebben vooral betrekking op de meer specifieke invoergegevens en in het hanteren van default waarden in de situaties dat niet alle basisgegevens beschikbaar zijn. Daarnaast wordt er ook rekening gehouden met een beperkt

aantal verschillen in bepaalde systeemaannamen betreffende de dimensionering van maatregelen. In de subsystemen voor Kust/Estuaria wordt onderscheid gemaakt naar de Waddenzee en de Zeeuwse Delta die wat betreft de uitgangssituatie en de keuze voor de toe te passen maatregelen bepaalde verschillen vertonen. Dat geldt ook voor het onderscheid naar de oude zeedijken en de polderdijken die binnen het IJsselmeer als subsysteem zijn onderscheiden (ditzelfde onderscheid is ook van toepassing voor het Markermeer en de Randmeren).

5.1.2 Uitgangssituatie en beschouwde maatregelen

Algemene kenmerken profiel buitentalud

Voor een nadere beschouwing van de mogelijke versterkingsmaatregelen wordt uitgegaan van een algemene karakterisering van het buitendijkse dijkprofiel (het buitentalud) volgens Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Generieke weergave profiel buitentalud

Voor de generieke weergave van het profiel in Figuur 5.1 geldt dat deze in het algemeen van toepassing is op de hoofdsystemen Kust/Estuaria en Meer. Voor het hoofdsysteem Rivier is sprake van een aanmerkelijk simpeler aanpak waarbij een aantal van de hier beschreven zaken niet aan de orde zijn.

In Figuur 5.1 wordt onderscheid gemaakt naar vier onderdelen van het buitendijkse profiel waarvoor mogelijke versterkingsmaatregelen worden beschouwd, te weten:

- Het onderste deel van het ondertalud (OT-O) waarvan de ondergrens zich bevindt op enige afstand boven gemiddeld laag water (om het aanbrengen van een harde bekleding mogelijk te maken) en de bovengrens doorgaans in de buurt van gemiddeld hoog water.
- Het bovenste deel van het boventalud (OT-B). De ondergrens daarvan komt overeen met de bovengrens van OT-O. De bovengrens valt samen met de hoogte van de buitenberm (indien aanwezig). Indien geen berm aanwezig is bevindt de bovengrens zich doorgaans in de buurt van het Ontwerppeil. Het Ontwerppeil is daarbij gelijk aan het Toetspeil

vermeerderd met de verwachte waterstandstijging tot aan het eind van de ontwerplevensduur. Het Toetspeil is de waterstand volgens de in de veiligheidsnorm vastgelegde normfrequentie. Voor de kust is het Toetspeil gelijk aan de waterstand volgens de normfrequentie vermeerderd met het effect van 50 jaar hoogwaterstijging en zeespiegelrijzing. In de praktijk wordt een expliciet onderscheid naar OT-O en OT-B in veel gevallen niet gemaakt en is voor deze beide onderdelen dezelfde bekledingssituatie van toepassing. Uit oogpunt van de generieke aanpak die bij de uitwerking van het onderdeel versterking dijkbekleding wordt nagestreefd, is met dit mogelijke onderscheid echter wel rekening gehouden.

- De (buiten)berm als horizontale onderbreking van het buitendijkse talud. Hoogteligging en breedte van de berm kunnen in de praktijk per dijkprofiel aanzienlijk verschillen. Ook kan het zijn dat in het geheel geen berm aanwezig is. Indien een berm aanwezig is, bevindt zich in veel (Kust/Estuaria en meren) gevallen een onderhouds- of inspectiepad op de berm. Bezien vanuit de waterkering kan de berm verschillende functies hebben. In de eerste plaats wordt door de berm de golfbelasting op het boventalud gedempt waardoor tot op zekere hoogte kan worden voorkomen dat een harde bekleding van het boventalud nodig is. Het is daarvoor noodzakelijk dat de berm voldoende breedte is (een vuistregel voor het systeem Kust/Estuaria is dat de bermbreedte gelijk zou moeten zijn aan twee maal de significante golfhoogte H_s) en ook stelt dit eisen aan de hoogte van de berm. Daarnaast kan door de aanwezigheid van een berm de overslag over de dijkkruij worden beperkt, hetgeen eveneens eisen stelt aan de hoogte van de berm. Een berm die deze functies moet vervullen zal doorgaans worden aangelegd met een hoogte in de buurt van het Ontwerppeil. In situaties waarbij in de uitgangssituatie sprake is van een berm met een hoogteligging in de buurt van het Ontwerppeil is het dan ook redelijk om te veronderstellen dat bij een toename van het Ontwerppeil de berm zal worden opgehoogd. Dit ligt minder voor de hand als de hoogte van de al bestaande berm duidelijk onder Ontwerppeil is. In de verdere ontwikkeling van de aanpak wordt met deze verschillende uitgangssituaties (berm op Ontwerppeil en berm duidelijk onder Ontwerppeil) expliciet rekening gehouden.
- Het boventalud. Dit is het deel van het buitendijkse talud dat zich bevindt boven de berm (of boven Ontwerppeil bij het ontbreken van een berm) en dat potentieel in aanmerking komt voor een harde bekleding. Een vuistregel voor de bepaling van de bovenste begrenzing van het potentieel te bekleden deel van boventalud voor het systeem Kust/Estuaria is $\text{Ontwerppeil} + 0,5 * H_s$. Voor het systeem Meer ligt dit wat minder duidelijk (hiervoor is in de Hydraulische Randvoorwaarden ook geen significante golfhoogte gedefinieerd).

In de praktijk bestaat een zeer grote variatie in de uitgangssituaties ten aanzien van de aanwezigheid, ligging en afmetingen van de bovengenoemde onderdelen en de aard en afmetingen van de aanwezige bekleding. Bij de aanpak van het onderdeel dijkbekleding wordt daarom uitgegaan van een volledig generieke opzet waarbij voor de afzonderlijk te beschouwen dijkvakken een flexibele specificatie kan plaatsvinden van de relevante gegevens voor elk van de bovengenoemde profielonderdelen. Waar specifieke gegevens ontbreken wordt daarbij gebruik gemaakt van 'default waarden' die zijn gebaseerd op min of meer gangbare ontwerpregels en meer algemene uitgangspunten.

Zoals gezegd is de situatie voor het hoofdsysteem Rivier in het algemeen aanmerkelijk simpeler. Voor de kenmerken van het profiel van het buitentalud voor het hoofdsysteem Rivier zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Op het buitentalud is geen berm aanwezig.

- Met het onderscheid naar eventueel verschillende delen van het buitentalud (onder- en boventalud) wordt uit oogpunt van bekleding geen rekening gehouden (als er sprake is van een bekleding dan geldt dit voor een enkel, aaneengesloten deel van het talud).

Te beschouwen maatregelen

Versterkingsmaatregelen voor de bekleding van het buitentalud hebben in principe betrekking op het versterken (verzwaren) van de al bestaande harde bekleding of het aanbrengen van harde bekleding als dat nog niet het geval is. In bepaalde gevallen is daarbij ook het aanbrengen van een kleibekleding van toepassing. Het versterken of het aanbrengen van bekleding kan in principe van toepassing zijn op elk van de in het bovenstaande onderscheiden onderdelen van het buitentalud, te weten het onderste en bovenste deel van het ondertalud en het boventalud (en combinaties daarvan). Daarnaast is het mogelijk dat de buitenberm wordt opgehoogd. Dit is in het algemeen van toepassing indien de hoogte van de bestaande berm zich bevindt in de buurt van het Ontwerppeil met als doel om de overslag over de dijkkruiw te beperken en/of te voorkomen dat een versterking van het boventalud noodzakelijk is.

De maatregelen die feitelijk van toepassing zijn hangen in belangrijke mate af van de uitgangssituatie. Met name de aard van de aanwezige bekleding is hiervoor bepalend. In dat opzicht wordt voor de verschillende profielonderdelen onderscheid gemaakt naar een uitgangssituatie 'zacht' (grasbekleding aanwezig) versus 'hard' (steen- of asfaltbekleding aanwezig). Een ander zeer bepalend element is de uitgangssituatie met betrekking tot de aanwezigheid van een buitenberm (berm wel of niet aanwezig en zo ja: berm op/boven of duidelijk onder Ontwerppeil). Gegeven de verschillende mogelijke uitgangssituaties worden voor de hoofdsystemen Kust/Estuaria en Meer de volgende mogelijke maatregelen beschouwd:

- Het uitbreiden van de bestaande harde bekleding op onder- of boventalud als gevolg van het toenemen van de Ontwerpwaterstand (alleen bij uitgangssituatie 'hard').
- Het vervangen van de aanwezige harde bekleding op ondertalud of boventalud door een zwaardere bekleding indien de aanwezige harde bekleding niet meer voldoet (bij uitgangssituatie 'hard').
- Het versterken van de aanwezige (harde) bekleding op het onderste deel van het ondertalud (OT-O) door overlaging met gepenetreerde breuksteen (bij uitgangssituatie 'hard' voor OT-O).
- Het aanbrengen van harde bekleding op ondertalud of boventalud indien niet meer met een zachte bekleding kan worden volstaan (bij uitgangssituatie 'zacht').
- Het ophogen van de aanwezige berm en het aanpassen (vervangen) van de harde elementen op de berm (zoals onderhoudspad en horizontale beëindigingen van de eventuele bekleding van onder- en boventalud op de berm) (als in uitgangssituatie een berm aanwezig is die ligt in de buurt van Ontwerppeil).
- Een eventuele harde overlaging van de berm in het geval van een gewenste ophoging. Dit alleen indien in de uitgangssituatie sprake is van een volledig 'hard' buitendijks profiel (als zowel onder- als boventalud al zijn voorzien van een harde bekleding).

Voor het hoofdsysteem Rivier is hier, gezien de eerder genoemde uitgangspunten, sprake van een vrij beperkt aantal relevante maatregelen als volgt:

- Het uitbreiden van de bestaande harde bekleding als gevolg van het toenemen van de Ontwerpwaterstand (alleen bij uitgangssituatie 'hard').

- Het vervangen van de aanwezige harde bekleding door een zwaardere bekleding indien de aanwezige harde bekleding niet meer voldoet (bij uitgangssituatie 'hard').
- Het aanbrengen van harde bekleding of een kleibekleding indien niet meer met de bestaande zachte bekleding kan worden volstaan (bij uitgangssituatie 'zacht').

Ten aanzien van het aanbrengen van bekleding bij het hoofdsysteem Rivier geldt dat volgens het Addendum Leidraad Rivieren (december 2008) in principe geen harde bekleding nodig zou zijn. In de praktijk komt dit echter plaatselijk wel voor in situaties waarbij sprake kan zijn van golfaanval, sterke stroming of een steil talud. Soms zijn hierbij ook landschappelijke overwegingen van toepassing. Dit heeft geleid tot het volgende uitgangspunt. Bij het beschouwen van de maatregelen voor rivieren wordt uitsluitend rekening gehouden met de uitbreiding van de *bestaande* harde bekleding. Daarbij geldt: bestaande harde bekleding blijft hard. Dit uitgangspunt leidt voor de huidige toepassing voor het hoofdsysteem Rivier tot zeer beperkte kosten voor de aanpassing van de bekleding, hetgeen vermoedelijk ook realistisch is. Bij de uitwerking van de aanpak is het echter wel mogelijk gemaakt om ook met eventuele kosten voor versterking van de bekleding op grond van de bovengenoemde maatregelen rekening te houden. In dit geval zijn dan wel aanvullende aannamen vereist in welke gevallen een versterking nodig zou zijn en hoe die versterking op grond van de beschikbare keuzemogelijkheden zou worden gerealiseerd.

5.1.3 Uitgangspunten specificatie maatregelen en ontwikkeling kostenfuncties

De afmetingen van de aan te brengen of te versterken bekledingen volgen voor een deel uit de kenmerken (afmetingen en buitentaludhelling) van het dijkprofiel. Daarnaast worden de afmetingen bepaald door een aantal nader te bepalen onder- en bovenbegrenzings (in m + NAP) van de te bekleden delen van het buitenprofiel. Hiervoor gelden de uitgangspunten volgens onderstaande tabel.

| Begrenzingsdelen buitentalud | Hoofdsysteem | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Kust & Estuaria | Meer | Rivier |
| Onderbegrenzing OT-O | Gemiddeld Laag Water + marge (1 m) | Gemiddelde waterstand | Maaiveldhoogte buiten |
| Bovenbegrenzing OT-O | Gemiddelde van onderbegrenzing OT-O en | | |
| Onderbegrenzing OT-B | bovenbegrenzing OT-B | | |
| Bovenbegrenzing OT-B | Hoogte berm of | Hoogte berm of | |
| Onderbegrenzing BT | Ontwerppeil (OP) | Ontwerppeil (OP) | |
| Bovenbegrenzing BT | Berm of OP + 0,5 maal significante golfhoogte | Systeemaanname | Systeemaanname |

Tabel 5.1 Uitgangspunten specificatie maatregelen dijkbekleding

Daarnaast zijn de volgende uitgangspunten van toepassing:

- Voor de aanwezige harde bekleding in de uitgangssituatie en voor het vervangen dan wel het nieuw aanbrengen van harde bekleding worden voor de hoofdsystemen Kust/Estuaria en Meer twee mogelijkheden beschouwd: steenzetting of asfalt. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met allerlei variaties in de aard van de steenbekleding die in de uitgangssituatie aan de orde kunnen zijn. Voor het onderste deel van het ondertalud (OT-O) wordt aangenomen dat als sprake is van een harde bekleding (en dat is doorgaans het geval) dit altijd een steenbekleding is. Alleen voor het deel OT-O wordt ook expliciet rekening gehouden met de mogelijkheid dat de bestaande bekleding kan worden versterkt door een harde overlaging (met gepenetreerde breuksteen). Voor het

hoofdsysteem Rivier is het uitgangspunt dat indien in de uitgangssituatie een harde bekleding aanwezig is, het altijd gaat om een steenbekleding.

- Bij het aanbrengen van een harde bekleding of het verzwaren van de bestaande bekleding wordt de zwaarte (dikte) van de bekleding afhankelijk gesteld van de verhoging van de Ontwerpwaterstand. Daarbij worden verzwaringstappen van 5 cm toegepast in de dikte van zowel de steen- als asfaltbekleding. Voor de dikte van de bekleding in de uitgangssituatie worden default waarden gehanteerd die op grond van systeemaannamen nader kunnen worden gespecificeerd.

Bij de ontwikkeling van de kostenfuncties zijn voorts de volgende uitgangspunten van toepassing:

- De specificatie en de kostenbepaling van maatregelen vindt per dijkvak plaats voor discrete stappen van de kruinverhoging van de dijk, in overeenstemming met de algemene uitgangspunten voor het discretiseren van de kostenfuncties (zie par. 2.2.3). Bij elke discrete kruinverhoging is ook de bijbehorende, discrete verhoging van de maatgevende waterstand bekend. De specificatie van de aard en omvang van de benodigde maatregelen voor de uitbreiding en versterking van de dijkbekleding wordt daarbij bepaald als functie van de toename van de maatgevende waterstand.
- Het uitgangspunt voor een aantal beschouwde varianten binnen WV21 is de referentiesituatie die is beschreven in Hoofdstuk 7.2.1. Strikt genomen zou dit betekenen dat elke toename van de hydraulische belasting (in de zin van de Ontwerpwaterstand) direct zou leiden tot het niet meer voldoen van de bestaande bekleding, hetgeen ook direct tot (hoge) kosten zou leiden. Bij de beschouwing van de noodzaak om de dijkbekleding te versterken is er een aantal redenen waarom dit minder realistisch lijkt. De zwaarte van de bekleding wordt vooral bepaald door de golfaanval. In de meeste gevallen is niet direct duidelijk of, en in welke mate, de golfbelasting bij een toename van de Ontwerp-waterstand ook direct zou toenemen. Daarbij geldt dat bij het ontwerp van de bestaande bekleding altijd sprake van een bepaalde 'reserve'. Gezien de voorkomende verschillen in de hydraulische situatie op een dijkvak (in relatie tot verschillen in oriëntatie, diepte vooroever en beschutting) is ook niet te verwachten dat direct op een heel dijkvak een kritieke situatie zou optreden. En ten slotte moet ook rekening worden gehouden met de hoogteligging van een eventuele berm die er voor kan zorgen dat een stijging van de Ontwerpwaterstand geen directe consequenties heeft voor het boventalud. Binnen de ontwikkelde aanpak is daarom rekening gehouden met verschillende vormen van voorkomende 'reserves' die ertoe leiden dat bij een verhoging van de Ontwerpwaterstand in principe niet direct maatregelen behoeven te worden getroffen. Op grond van een specificatie van deze reserve kan een bepaalde stijging van de Ontwerpwaterstand plaatsvinden alvorens maatregelen behoeven te worden getroffen. Deze reserve wordt aangeduid als de 'dH-reserve'. Mogelijke dH-reserves zijn afzonderlijk onderscheiden voor:
 - De hoogteligging van de berm (de dH reserve die aanwezig is voordat ophoging van de berm moet plaatsvinden).
 - De oversterkte voordat versterking van het ondertalud aan de orde is. De specificatie van deze oversterkte geldt voor beide delen van het ondertalud (OT-O en OT-B).
 - De oversterkte voordat versterking van het boventalud (BT) aan de orde is.

De (gemiddelde) dH-reserve kan op grond nader te bepalen systeemaannamen worden vastgesteld en heeft een minimale waarde van 0,0.

Als voor het onder- of boventalud de dH reserve wordt overschreden leidt dit tot het aanpassen (verzwaren) van de bestaande harde bekleding dan wel het aanbrengen van harde bekleding als dat in de uitgangssituatie nog niet het geval was. Voor zowel onder- als boventalud wordt er rekening mee gehouden dat een dergelijke ingreep niet noodzakelijkerwijs meteen voor de gehele lengte van het beschouwde dijkvak nodig behoeft te zijn. Op grond van nader te specificeren systeemaannamen kan afzonderlijk voor de versterking van onder- en boventalud worden aangegeven voor welk deel (welke fractie) van het dijkvak de versterking nodig is op het moment dat de dH reserve wordt overschreden en hoe deze fractie toeneemt met toenemende dH boven de dH-reserve. De implicatie hiervan is dat de versterkingsmaatregelen in eerste instantie plaatsvinden op een deel van het dijkvak. Op het overige deel vinden dan alleen de maatregelen plaats die betrekking hebben op het uitbreiden van de in de uitgangssituatie al bestaande bekleding. Door het hanteren van deze systeemaannamen kan het 'abrupt' ontstaan van zeer hoge kosten van maatregelen worden voorkomen.

5.2 Ontwikkeling van de Kostenfunctie Generator Dijkbekleding

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak is een Kostenfunctie Generator (KFG) Dijkbekleding ontwikkeld. In de KFG Dijkbekleding worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het geheel aan maatregelen voor de versterking van de dijkbekleding. Onderscheid wordt gemaakt naar drie afzonderlijke Kostenfunctie Generatoren Dijkbekleding voor resp. de hoofdsystemen Kust/Estuaria, Meer en Rivier. De opzet van deze kostenfunctie generatoren in generieke zin vertoont daarbij sterke overeenkomsten. Voor een nadere beschrijving van de opzet van de KFG's Dijkbekleding wordt verwezen naar Bijlage D.

5.3 Benodigde gegevens en bewerking

De belangrijkste benodigde gegevens voor de KFG Dijkbekleding hebben betrekking op:

1. Basisgegevens dijkvakken.
2. Systeemaannamen en default waarden.

5.3.1 Basisgegevens dijkvakken

Een overzicht van de benodigde basisgegevens per dijkvak (kenmerken dijkprofielen en gegevens hydraulische belasting) voor de kostenfunctie generatoren per hoofdsysteem is gegeven in onderstaande Tabel 5.2.

De meeste basisgegevens volgens Tabel 5.2 zijn voor alle hoofdsystemen van toepassing (elementen 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 12, 13 en 14). Lengte en hoogte buitenberm en aanwezigheid asfaltbekleding (5, 6 en 10) zijn niet van belang voor het hoofdsysteem Rivier gezien het algemene uitgangspunt dat geen buitenberm aanwezig hoeft te zijn vanuit het oogpunt van golfaanval op de dijk en bij aanwezigheid harde bekleding altijd wordt uitgegaan van een steenbekleding. Maaiveldhoogte buiten (11) en gemiddelde waterstand (17) worden alleen gehanteerd voor resp. het hoofdsysteem Rivier en Meer (voor de vaststelling van de onderbegrenzing van de aanwezige bekleding). Significante golfhoogte en gemiddeld laag water (15 en 17) zijn alleen van belang voor het hoofdsysteem Kust/Estuaria.

| Gegevens-element | | Hoofdsysteem (KFG) | | |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|------|--------|
| Omschrijving | Eenheid | Kust/Estuaria | Meer | Rivier |
| 1. Dijkvakcode | - | X | X | X |
| 2. Hoofdsysteem | K, M, R | X | X | X |
| 3. Substelsysteem | index 1,2 | X | X | X |
| 4. Lengte dijkvak | m | X | X | X |
| 5. Lengte buitenberm | m | X | X | |
| 6. Hoogte buitenberm | m + NAP | X | X | |
| 7. Helling buitentalud | cotg | X | X | X |
| 8. Deel dijkvak met grasbekleding | % | X | X | X |
| 9. Deel dijkvak met steenbekleding | % | X | X | X |
| 10. Deel dijkvak met asfaltbekleding | % | X | X | |
| 11. Maaiveldhoogte buiten | m + NAP | | | X |
| 12. Ontwerppeil (MHW) | m + NAP | X | X | X |
| 13. Stapgrootte kruinverhoging | m | X | X | X |
| 14. stapgrootte waterstandsverhoging | m | X | X | X |
| 15. Significante golfhoogte | m | X | | |
| 16. Gemiddeld laag water (GLW) | m + NAP | X | | |
| 17. Gemiddelde waterstand | m + NAP | | X | |

Tabel 5.2 Basisgegevens dijkvakken voor de verschillende hoofdsystemen

De gegevens-elementen 1 en 4 t/m 11 zijn direct ontleend aan het Basisbestand Gegevens Dijkvakken zoals dat op grond van de inventarisatie door Deltares BGS (in directe interactie met de beheerders) tot stand is gekomen (zie par. 3.1). De overige gegevens zijn toegevoegd op grond van een aanvullende inventarisatie. Daarbij volgen de elementen 2 en 3 direct uit de gehanteerde definities van de hoofd- en subsystemen. Het Ontwerppeil (MHW) is bepaald als onderdeel van de vaststelling van de basisgegevens voor de hydraulische belasting op grond van de berekeningen in het Kansenspoor. De stapgrootten voor kruinverhoging en waterstanden zijn rechtstreeks van deze gegevens afgeleid (zie par. 3.2). De significante golfhoogte (alleen voor hoofdsysteem Kust/Estuaria) is per dijkvak vastgesteld op grond van de Hydraulische Randvoorwaarden. Voor gemiddeld laag water (alleen Kust/Estuaria) en de gemiddelde waterstand (alleen Meer) zijn directe (globale) schattingen gemaakt.

5.3.2 Systeemaannamen en defaultwaarden

Op grond van de verzameling van de basisgegevens per dijkvak zijn de hoofdkenmerken van de bekledings situatie vastgesteld. Meer gedetailleerde informatie over de aanwezige bekleding in de uitgangssituatie en de dimensionering van de bekledingsmaatregelen is opgenomen in een specificatie van systeemaannamen en default waarden per hoofd- en subsysteem. Deze aanvullende gegevens zijn gebaseerd op historische kennis en ervaringsgegevens betreffende de specifieke verschillen die voor de hoofd- en subsystemen van toepassing zijn en zijn in overleg met de betrokken experts van de marktpartijen bepaald. Op grond van het gebruik van de per subsysteem gedefinieerde systeemaannamen en default waarden wordt voorkomen dat per dijkvak een gedetailleerde inventarisatie van gegevens moet plaatsvinden (die op landelijke schaal binnen de praktische randvoorwaarden niet uitvoerbaar is). Anderzijds geldt dat er aan het gebruik van de meer algemene systeemaannamen en default waarden bepaalde onzekerheden zijn verbonden. Door het expliciet definiëren van de gehanteerde aannamen kunnen de effecten van deze

onzekerheden in een gevoeligheidsanalyse worden zichtbaar gemaakt. Systeemaannamen en default waarden zijn beschouwd binnen de categorieën: algemeen; aannamen per hoofdsysteem en aannamen per subsysteem. Het volgende geeft een beeld van de gehanteerde aannamen die binnen deze categorieën als de belangrijkste (de meest onzekere) moeten worden beschouwd. De binnen WV21 gehanteerde aannamen komen terug in de gepresenteerde tabellen in Hoofdstuk 1, meer specifiek Tabel 8.2.

- Algemene systeemaannamen en default waarden. Deze hebben betrekking op een aantal minimale en maximale waarden die ten aanzien van de toepassing en verzwaring van de bekledingen worden gehanteerd. De onzekerheden in deze aannamen zijn beperkt. Het effect van deze aannamen wordt als minder belangrijk beschouwd.
- Systeemaannamen en default waarden per hoofdsysteem. Het gaat hier vooral om de profielkenmerken van het buitentalud in relatie tot de te treffen versterkings-maatregelen. De potentieel meest belangrijke aannamen hebben betrekking op de maatregel bermverhoging (maximaal op te hogen lengte van de buitenberm en marge tussen hoogteligging buitenberm en Ontwerppeil waarbinnen van bermophoging wordt uitgegaan) en de aannamen over de dH-reserve in relatie tot de helling van het buitentalud (toename dH-reserve in het geval van (zeer) flauwe taludhellingen).
- Systeemaannamen en default waarden per subsysteem. Hier is een aantal aannamen van toepassing die vooral betrekking hebben op de nadere specificatie van de bekleding in de uitgangssituatie (aard, dikte) en op de wijze waarop moet worden omgegaan met oversterkte en de toepassing van maatregelen. De laatste aannamen worden daarbij veruit als de belangrijkste gezien. Het gaat hier om de aan te nemen dH-reserves voor ondertalud en boventalud (voor de laatste met onderscheid naar de situatie dat wel of geen berm op Ontwerppeil aanwezig is) en over de aannamen betreffende de lengte van het dijkvak waarop de versterkingsmaatregelen als functie van dH van toepassing zijn.

5.4 Kostenbepaling

De verzameling van de basisgegevens voor de kostenbepaling (eenheidsprijzen en opslagfactoren) heeft plaatsgevonden als onderdeel van de ontwikkeling van het Prijzenbestand Kostenspoor in samenwerking tussen Deltares en DHV (zie par. 3.4.1 en Bijlage F). Het gaat hier om de specifieke eenheidsprijzen en opslagfactoren die voor de maatregelen betreffende de aanleg, uitbreiding en versterking van dijkbekleding van toepassing zijn. Deze gegevens zijn opgenomen in het werkblad EP van de kostenfunctie generatoren voor de verschillende hoofdsystemen.

De kosten worden bepaald in de KFG dijkbekleding, op grond van het hanteren van eenheidsprijzen voor de verschillende maatregelhoeveelheden (zoals te verwijderen en aan te brengen harde bekleding in m² en te verwerken grondhoeveelheden in m³) en het gebruik van opslagfactoren voor verschillende situaties.

6 Methode kostenramingen kunstwerken

Dit hoofdstuk beschrijft in algemene zin de methode om kosten van het aanpassen van kunstwerken te bepalen. Binnen de kosten-baten analyse worden een aantal verschillende scenario's beschouwd, waarvoor aparte kostenramingen opgesteld zijn gebruik makend van deze methode. Generieke aannames geldig voor alle beschouwde varianten worden binnen dit hoofdstuk toegelicht. Specifieke aannames geldig voor een specifieke variant komen aan de orde in Hoofdstuk 7.

6.1 Aanpak onderdeel kunstwerken

6.1.1 Te beschouwen waterkerende kunstwerken

Zoals blijkt uit Tabel 3.2 is in de inventarisatie van Grontmij uitgegaan van een brede definitie van 'kunstwerken' waarbij de volgende hoofdgroepen zijn onderscheiden:

- Waterkerende kunstwerken
- Kokervormige constructies door de waterkering
- Bijzondere waterkerende constructies
- Overige

Voor de beschouwing van de kosten van aanpassing van waterkerende kunstwerken in het kader van het Kostenspoor is hiervan maar een beperkt deel relevant. In dit verband gelden de volgende observaties:

- Van primair belang is de groep van waterkerende kunstwerken.
- Ook van de kokervormige kunstwerken is er een aantal van belang. Het gaat hier om gemalen, duikers en hevels waaraan bepaalde waterkerende aspecten zijn verbonden. Met overstorten wordt geen rekening gehouden. Met eventuele aansluitingen van keringen op tunnels wordt bij de inventarisatie van dijktrajecten rekening gehouden. De tunnels zelf worden niet verder beschouwd. Aanwezige leidingen in keringen wordt niet expliciet beschouwd. De kosten van aanpassingen zijn begrepen in de meer algemeen gehanteerde opslagfactoren.
- De categorie bijzondere waterkerende constructies heeft in het algemeen betrekking op bepaalde constructieve onderdelen die, voor zover relevant, binnen het Kostenspoor op andere wijzen zijn beschouwd. Constructieve onderdelen zoals schermen, damwand, keermuur en kistdam vormen daarbij onderdeel van de constructieve maatregelen die bij maatregelen voor dijkversterking expliciet aan de orde komen. Andere, meer specifieke onderdelen (zoals demontabele keringen, klepkeringen, schotbalkkeringen, schuiven, waterkerende deuren) vormen onderdeel van de bijzondere constructies en specials die bij dijkversterking als afzonderlijke deeltrajecten zijn onderscheiden, en aldaar in de kostenraming zijn meegenomen. Deze worden dus binnen dit onderdeel Kunstwerken niet verder beschouwd. Stormvloedkeringen maken deel uit van B-keringen en worden niet als onderdeel van de A-keringen beschouwd.
- De categorie overig is evenmin van belang. Stuwen en naviducten spelen geen rol en aan de niet-gedefinieerde kunstwerken wordt verder geen invulling gegeven.

Op grond van deze overwegingen worden uitsluitend de volgende 8 typen kunstwerken bij de bepaling van de kosten van aanpassing van waterkeringen beschouwd:

- Schutsluis
- Inlaatsluis
- Spuisluis/uitwateringssluis
- Keersluis
- Coupure
- Gemaal
- Duiker
- Hevel

Voor de bepaling van de kosten van aanpassingen wordt alleen rekening gehouden met de waterkerende kunstwerken die zich in de A-keringen bevinden. Dat zijn er minder dan in Tabel 3.2 aangegeven. Op de meer specifieke inventarisatie van de te beschouwen aantallen kunstwerken wordt verder ingegaan in par. 6.3.

6.1.2 Uitgangspunten specificatie maatregelen en ontwikkeling kostenfuncties

Geconstateerd is dat de beschikbare informatie op grond van de in KOSWAT uitgevoerde analyses qua aanpak en vorm goed past bij de eisen die aan de voor de MKBA gewenste kostenfuncties worden gesteld. Dat geldt zowel voor de gehanteerde uitgangspunten als voor de feitelijk beschouwde typen kunstwerken. Van de 8 als relevant aangemerkte typen kunstwerken voor de MKBA zijn er 6 binnen de KOSWAT analyse beschouwd. Anderzijds is de constatering dat aan de informatie op grond van de ontwikkelde kostenfuncties een aantal grote beperkingen en onzekerheden kleeft. De grootste beperking is gelegen in de representativiteit van de beschouwde 26 kunstwerken voor de landsdekkende inventarisatie van kunstwerken die in de MKBA worden beschouwd (orde 800). In de relatief kleine voorbeeldset worden niet alle combinaties van typen en grootteklassen afgedekt. Daarbij geldt dat de situatie van elk kunstwerk door de veelheid van relevante kenmerken en factoren als uniek moet worden beschouwd, en dat elke standaardisering van de aanpak in feite mank gaat. Gezien de complexiteit van de aanpak per kunstwerk is er echter geen andere keuze dan uit te gaan van een sterke vereenvoudiging en standaardisering en van het gebruik van beschikbare kennis en informatie. In dat opzicht vormen de resultaten van de in KOSWAT uitgevoerde analyses eenvoudigweg het beste dat beschikbaar is.

De aanpak om te komen tot een landelijke set van kostenfuncties voor de aanpassing van kunstwerken is daarom gebaseerd op de kostenfuncties die op grond van de KOSWAT analyses zijn ontwikkeld. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De toepassing van de kostenfuncties per individueel kunstwerk wordt gebaseerd op het gebruik van de generieke kostenfuncties waarbij de kosten zijn uitgedrukt als percentage van de vervangingswaarde.
- Voor de verschillende typen en grootteklassen van de kunstwerken wordt daarbij uitgegaan van geactualiseerde schattingen van de vervangingswaarden, op basis van het door DHV opgestelde Prijzenbestand kostenspoor.
- Het algemene uitgangspunt voor de toepassing van de kostenfuncties is dat er geen sprake is van overstekten. In geval van een kruinverhoging (waterstandsverhoging) zijn aanpassingsmaatregelen dus direct van toepassing. Wel blijven de onderlinge 'verhoudingen' tussen de dH-reserves per faalmechanisme van toepassing. Dat houdt in dat bij kruinverhoging niet noodzakelijkerwijs ook direct aanpassingen voor de overige faalmechanismen moeten plaatsvinden.
- De kostenfuncties in KOSWAT worden aangestuurd door een discrete verhoging van de waterstand (afgerond op 0,1 m). De kostenfuncties voor WV21 worden aangestuurd door

discrete kruinverhogingen van de kering. Bij het gebruik van de KOSWAT kostenfuncties worden de discrete kruinverhogingsstappen vertaald naar waterstandsverhogingen die worden afgerond op 0,1 m.

- Voor 6 van de 8 kunstwerktypen kunnen de kostenfuncties zoals ontwikkeld in KOSWAT direct worden toegepast. Voor hevels en duikers zijn geen kostenfuncties beschikbaar. Voor deze beide kunstwerktypen zal de kostenfunctie van een van de bestaande typen worden gehanteerd. Daartoe zal worden uitgegaan van de kostenfunctie voor een (kleine) inlaatsluis.

6.2 Ontwikkeling van de Kostenfunctie Generator Kunstwerken

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak is een Kostenfunctie Generator (KFG) Kunstwerken ontwikkeld. In de KFG Kunstwerken worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het geheel aan maatregelen voor de versterking van de verschillende kunstwerken die zich in het betreffende dijkvak bevinden. Voor een nadere beschrijving van de opzet en de realisatie van de KFG Kunstwerken wordt verwezen naar Bijlage E.

6.3 Benodigde gegevens en bewerking

De belangrijkste benodigde gegevens voor de KFG Kunstwerken hebben betrekking op:

1. Inventarisatie kunstwerken per dijkvak
2. Vervangingswaarden kunstwerken en opslagfactoren
3. Systeemaannamen

6.3.1 Inventarisatie kunstwerken per dijkvak

Het aantal kunstwerken per dijkvak en per type volgt direct uit de gemaakte inventarisatie door de Grontmij (zie paragraaf 3.3.2) en de verdere toedeling van de relevante kunstwerktypen aan de gedefinieerde dijkvakken. Tabel 6.1 geeft een overzicht. De aantallen kunstwerken zijn verder toegedeeld naar grootteklassen. Voor een aantal van (de duurdere) kunstwerken is daarbij expliciet gekeken naar de afmetingen van de kunstwerken (op grond van de gegevens over de feitelijke locatie van de kunstwerken en een exercitie met Google Earth). Een dergelijke toedeling heeft plaatsgevonden voor schutsluizen, keersluizen en uitwateringssluizen. Voor de overige kunstwerken zijn de volgende aannamen en vuistregels toegepast:

- Gemalen: uitgaan van gemiddelde afmetingen met correcties naar klein en groot op grond van het aantal voorkomende gemalen per dijkring in relatie tot de oppervlakte van de dijkring.
- Inlaatsluizen: gemiddeld is uitgegaan van 'klein'. Dit op grond van een snelle visuele steekproef en de aannamen voor de afmetingen die bij de bepaling van de vervangingswaarde zijn gehanteerd.
- Duikers en hevels: deze zijn alle geïnterpreteerd als zeer kleine inlaatwerken.

Tabel 6.1 Relevante typen en aantallen waterkerende kunstwerken in Nederland en binnen dijkvakken

| Relevante typen kunstwerken | Aantal kunstwerken | |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| | Nederland totaal | Binnen dijkvakken |
| Schutsluis | 138 | 76 |
| Inlaatsluis | 69 | 45 |
| Spuisluis/uitwateringssluis | 108 | 71 |
| Keersluis | 69 | 34 |
| Coupure | 288 | 153 |
| Gemaal | 301 | 209 |
| Duiker | 349 | 152 |
| Hevel | 31 | 29 |
| Totaal | 1353 | 769 |

6.3.2 Vervangingswaarden kunstwerken en opslagfactoren

Als onderdeel van de verzameling van de basisgegevens voor de kostenbepaling is door DHV een globale raming gemaakt van de vervangingswaarden van de verschillende typen kunstwerken (directe bouwkosten en opslagfactoren voor bepaling totale investeringskosten) voor een aantal grootteklassen. Bij de bepaling van de uiteindelijke vervangingswaarden zijn deze schattingen aangepast om ze in overeenstemming te brengen met de representatieve afmetingen van de kunstwerken binnen de inventarisatie en de schattingen en grootteklassen zoals die aanvankelijk binnen KOSWAT zijn gehanteerd.

6.3.3 Systeemaannamen

De belangrijkste systeemaannamen hebben betrekking op de keuzen van de systeemp parameters waarmee de uiteindelijke generieke kostenfuncties voor de 6 typen en 5 grootteklassen van de kunstwerken zijn vastgesteld. Een andere belangrijke aanname heeft betrekking op de schatting van de vervangingswaarden (directe bouwkosten en opslagfactoren) zoals die voor de kunstwerktypen en grootteklassen zijn gehanteerd.

6.4 Kostenbepaling

De kosten van het aanpassen van waterkerende kunstwerken op een dijkvak worden bepaald met de KFG kunstwerken, zoals beschreven in Bijlage E. Aanwezige kunstwerken in een dijkvak worden ingedeeld naar type en grootteklasse, waarvoor een standaard kostenfunctie beschikbaar is, zoals beschreven in paragraaf 6.3.2.

7 Resultaten kostenramingen

7.1 Beschouwde varianten, gevoeligheids- en aanvullende analyses

Onder de noemer van de MKBA worden verschillende berekeningen uitgevoerd, ieder met zijn eigen specifieke uitgangspunten. In deze paragraaf komt het onderscheid tussen de verschillende soorten analyses aan de orde.

Referentiesituaties

Om te beginnen zijn er een tweetal referentiesituaties gedefinieerd. Een referentiesituatie beschrijft in beginsel de verwachte situatie bij voortzetting van het huidige beleid; dus een ongewijzigd beleid. In de context van het onderzoek naar actualisering van de normen voor waterveiligheid is ervoor gekozen op twee verschillende manieren invulling te geven aan 'voortzetting van het huidige beleid'. Daarom zijn in het onderzoek twee referentiesituaties onderscheiden. De referentiesituaties zijn uitvoerig beschreven in paragraaf 7.2.

Gevoeligheidsanalyses

Rondom de eerste referentiesituatie, welke in deze rapportage aangeduid wordt met de term 'Basisvariant', wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een aantal gemaakte keuzes worden gevarieerd. Bij de gevoeligheidsanalyses gaat het er om te onderzoeken hoe gevoelig de uitkomsten van de eerste referentiesituatie (de basisvariant) zijn voor de belangrijkste en onzekere variabelen. Voorbeelden zijn: de keuze voor wel/geen overhoogte, het kritische overslagdebiet, de waardering van immateriële schade etc. Alle uitgevoerde gevoeligheidsanalyses worden in het MKBA rapport beschreven (Kind, 2011). Niet iedere uitgevoerde gevoeligheidsanalyse vereist een andere set kostenfuncties vanuit het kostenspoor. De drie gevoeligheidsanalyses die nader beschouwd worden zijn deze met betrekking tot:

- Klimaat- en aftopscenario (zie paragraaf 7.3)
- Overhoogte en -sterkte (zie paragraaf 7.4)
- Rekenregels piping (zie paragraaf 7.5)

Binnen de MKBA zijn in aanvulling op de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses middels een Monte Carlo analyse de betrouwbaarheidsintervallen rondom de economisch optimale overstromingskansen van de basisvariant nader verkend. Hiertoe is vanuit het kostenspoor een schatting gegeven van de onzekerheid rondom de berekende investeringskosten. Dit komt uitgebreid aan de orde in hoofdstuk 1.

Varianten

Voor het maken van de berekeningen is in een aantal gevallen een keuze gemaakt met betrekking tot de (toekomstige) inrichting van het fysieke watersysteem of waterkeringstelsel waarvan wordt uitgegaan. In een aantal gevallen waren hier ook andere keuzes mogelijk geweest. Voorbeelden hiervan zijn de nog te nemen besluiten over een mogelijke peilopzet op het IJsselmeer of over compartimentering van dijkkring 43. Voor de varianten geldt dat de verdere methode en aannames voor de berekeningen verder gelijk blijven aan die van de basisvariant. Rondom de varianten is geen gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd. Voor het kostenspoor is enkel de variant met betrekking tot de hoogwatergeul bij Kampen relevant. In paragraaf 7.6 zijn de aanpassingen binnen de kostenramingen beschreven.

Aanvullende analyses

Tenslotte zijn er binnen de MKBA nog enkele aanvullende analyses uitgevoerd. Daarbij is het effect van een aantal andere aannames rondom de basisvariant onderzocht, zoals bijvoorbeeld het effect van het niet meenemen van de materiële schade. Deze aanvullende analyses verschillen van de varianten en de gevoeligheidsanalyses doordat zij minder of niet realistisch zijn en de uitkomsten daarom op een andere wijze moeten worden geïnterpreteerd. Met de aanvullende analyses wordt onder andere beoogd om tijdens het opstellen van de MKBA gestelde vragen te beantwoorden. Een van de uitgevoerde aanvullende analyses vereist kostencurves voor een aantal beschouwde B-keringen. Dit is beschreven in paragraaf 7.7.

Zie voor meer achtergronden over alle uitgevoerde analyses de MKBA rapportage (Kind, 2011).

7.2 Eerste en tweede referentiesituatie

7.2.1 Achtergronden bij de gehanteerde referentiesituaties binnen het onderzoek

Voor het uitvoeren van de MKBA en Slachtofferanalyses is een referentiesituatie nodig. Deze vervult in de analyse twee verschillende functies: (1) als startpunt voor de berekeningen en (2) als situatie om de uitkomsten mee te kunnen vergelijken. Een referentiesituatie beschrijft in beginsel de verwachte situatie bij voortzetting van het huidige beleid; dus een ongewijzigd beleid. In de context van het onderzoek naar actualisering van de normen voor waterveiligheid is ervoor gekozen op twee verschillende manieren invulling te geven aan 'voortzetting van het huidige beleid'. Daarom zijn in het onderzoek twee referentiesituaties onderscheiden. Het onderscheid tussen beide heeft met name betrekking op de wijze waarop wordt omgegaan met nieuwe inzichten (bijv. het belang van piping, de invloed van lengte-effecten).

Voortzetting van het huidige beleid kan zo worden uitgelegd dat de waterkeringen voldoen aan de huidige normen, getoetst volgens de huidige normeringssystematiek. De huidige normeringssystematiek kan daarbij worden opgevat als een dynamisch systeem. Door nieuwe inzichten kunnen hydraulische randvoorwaarden wijzigen en kunnen toetsvoorschriften worden aangepast. Zo kunnen inzichten vanuit VNK en SBW ten aanzien van het belang van piping in het rivierengebied hun weg vinden in aangescherpte toetsregels voor piping.

Binnen deze benadering blijft worden toegewerkt naar de beschermingsniveaus zoals die in de huidige normen zijn vastgelegd. Daarbij worden die normen, hoewel betrekking hebbend op de overschrijdingskans van extreme hoogwaterstanden, getalmatig gelijk gesteld aan overstromingskansen. De Commissies Becht (1977), Boertien (1992) en meer recent de Commissie Veerman (2008) hebben hetzelfde uitgangspunt gehanteerd net als het CPB in de KBA Ruimte voor de Rivier (Eijgenraam 2005). Dit uitgangspunt sluit aan bij de (in de maatschappij) veronderstelde/gepercipieerde beschermingsniveaus.

Onderzoek in het kader van het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) maakt duidelijk dat er geen één op één verband bestaat tussen overschrijdingskansen en overstromingskansen. Althans niet binnen de huidige normeringssystematiek, waarin het faalmechanisme overloop/overslag centraal staat. Nieuwe inzichten in lengte-effecten, de grotere bijdrage van piping aan de overstromingskans, e.d. laten zien dat de overstromingskans veelal een factor groter is dan de overschrijdingskans. Deze inzichten zijn door een groep experts eind 2009 betrokken bij de opstelling van een zogeheten 'omrekeningtabel'. Deze 'omrekeningtabel' (zie Tabel 7.1) laat zien dat de factor tussen

overschrijdingskans en overstromingskans een functie is van het type watersysteem en de grootte van de dijkkring. Deze nieuwe inzichten impliceren dat de overstromingskansen – ook na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's - groter zullen zijn dan de overschrijdingskansen van de waterstanden.

| Type watersysteem | grote dijkkring | | kleine dijkkring | |
|-------------------|-----------------|-------------|------------------|-------------|
| | gemiddelde | bandbreedte | gemiddelde | bandbreedte |
| Zee | 2 | 0,6 – 5 | 1 | 0,3 – 2,2 |
| Benedenrivieren | 4 | 1 – 9,1 | 2 | 1 – 5,2 |
| Meren | 3 | 0,6 – 9,5 | 2 | 0,5 – 5,7 |
| Bovenrivieren | 5 | 1,2 – 9,7 | 3 | 1,1 – 5,4 |

Bron: Kok en Vrouwenvelder (21-12-2009); Eerste vertaalslag van huidig beschermingsniveau naar overstromingskans

Tabel 7.1 'Omreken tabel' met verhouding overstromingskans –overschrijdingskans voor verschillende typen dijkkringen na uitvoering van de lopende verbetermaatregelen

Voor het onderzoek worden dus twee referentiesituaties onderscheiden:

- De eerste referentiesituatie sluit aan bij het uitgangspunt van de Commissies Becht (1977), Boertien (1992) en Veerman (2008). In deze referentiesituatie zijn de overstromingskansen van de onderscheiden dijkkringdelen getalsmatig gelijk gesteld aan de huidige wettelijke normfrequenties in termen van overschrijdingskansen. De referentiesituatie weerspiegelt de *(in de maatschappij) veronderstelde/gepercipieerde* beschermingsniveaus. Deze referentiesituatie wordt in dit rapport ook aangeduid als de basisvariant.
- De tweede referentiesituatie (rekeninghoudend met nieuwe inzichten) vormt een *inschatting van de verwachte* overstromingskansen na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's (in 2015/2020). Deze inschatting is gebaseerd op de inzichten uit de omreken tabel van experts.

In de maatschappelijke kosten-batenanalyse en de analyse van slachtofferrisico's wordt rekening gehouden met verwachte ontwikkelingen in economie en demografie. Als referentiejaar voor deze ontwikkelingen geldt in de analyses het jaar 2015. Voor de bepaling van toekomstige investeringen (kostenbepaling) wordt verondersteld dat de referentiesituatie in 2015 is bereikt.

De schatting van de kosten van maatregelen (dijkverhoging en dijkversterking) voor het verkleinen van de overstromingskans is voor de eerste referentiesituatie volledig gebaseerd op de huidige Voorschriften Toetsen op Veiligheid (VTV). Bij de tweede referentiesituatie wordt rekening gehouden met het grotere belang van het lengte effect voor het mechanisme piping. Hiervoor is gewerkt met de nieuwe veiligheidsfactoren voor piping zoals die in het kader van WTI zijn ontwikkeld die afhankelijk zijn gemaakt van de pipinggevoelige lengte binnen een dijkkring. In vergelijking tot de eerste referentiesituatie leidt toepassing van deze nieuwe piping-regel tot hogere kosten in piping-gevoelig gebieden.

Nadere invulling van beide referentiesituaties

De *eerste referentiesituatie* is *gedefinieerd* als de situatie waarbij de overstromingskans per onderscheiden dijkkringdeel (zie paragraaf 2.1.1) getalsmatig gelijk is aan de huidige wettelijke normen in termen van overschrijdingskansen. Net als bij de huidige toetsvoorschriften wordt er in de referentiesituatie vanuit gegaan dat overloop/overslag het dominante faalmechanisme is. Er wordt vanuit gegaan dat er geen zwakke plekken zijn en elke kilometer

dijk een gelijke kans op doorbreken heeft. Regionale keringen, B- en C-keringen worden geacht 'op orde' te zijn.

De *tweede referentiesituatie* betreft een *ordegrootte inschatting*, waarbij rekening is gehouden met nieuwe inzichten ten aanzien van piping resp. lengte-effecten. De factoren zoals opgenomen in tabel 1 zijn benut om de verwachte overstromingskans per dijkkringdeel na uitvoering van de lopende verbeterprojecten en –programma's te schatten. De factoren van de omreken tabel gelden per dijkkring. Wanneer een dijkkring in het onderzoek is opgedeeld in bijvoorbeeld twee dijkkringdelen dan zijn de overstromingskansen van de dijkkring*delen* een factor twee kleiner. Het zijn met name de *grote* dijkeringen langs de kust die in het onderzoek zijn opgedeeld in twee of meer dijkeringen. De 'lengtefactor' van 2 voor grote dijkeringen van het type watersysteem 'Zee' (zie Tabel 7.1) wordt daarmee gecompenseerd door de opsplitsing in twee of meer dijkkringdelen.

Voor het onderzoek is ervoor gekozen de tweede referentie te benaderen als een minder rooskleurige inschatting van de veiligheidssituatie dan de eerste referentiesituatie. Daarom is het uitgangspunt gehanteerd dat de geschatte overstromingskans van de tweede referentiesituatie groter, dan wel gelijk is aan die van de eerste referentiesituatie. Met deze principes is voor alle dijkkringdelen een ordegrootte inschatting gedaan voor de overstromingskansen van de tweede referentiesituatie.

Een overzicht van de overstromingskansen van beide referentiesituaties per type watersysteem is opgenomen in Tabel 7.2. De grootste verschillen worden gevonden bij de *grote* dijkeringen in het rivierengebied; daar bedraagt het verschil een factor 5. In dit type dijkkring hebben nieuwe inzichten in het belang van piping en lengte-effecten het meeste effect op de overstromingskans van de dijkkring (de factor uit de 'omreken tabel' is daar het grootst). Voor de kleinere dijkeringen in het bovenrivierengebied is het verschil geringer: ongeveer een factor 3. Voor de dijkeringen langs de kust ontlopen de overstromingskansen van beide referentiesituaties elkaar slechts weinig: ze zijn gelijk, of de overstromingskans van de tweede referentiesituatie is ruwweg een factor 2 groter dan bij de eerste referentiesituatie.

| Nr. | Naam | Eerste ref. | Tweede ref. | Nr. | Naam | Eerste ref. | Tweede ref. |
|-------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------|------------------------------|-------------|-------------|
| 1-1 | Schiermonnikoog | 1/2000 | 1/2000 | 28-1 | Noord-Beveland | 1/4000 | 1/4000 |
| 2-1 | Ameland | 1/2000 | 1/2000 | 29-1 | Walcheren-West | 1/4000 | 1/4000 |
| 3-1 | Terschelling | 1/2000 | 1/2000 | 29-2 | Walcheren-Oost | 1/4000 | 1/4000 |
| 4-1 | Vlieland | 1/2000 | 1/2000 | 30-1 | Zuid-Beveland-West | 1/4000 | 1/4000 |
| 5-1 | Texel | 1/4000 | 1/4000 | 31-1 | Zuid-Beveland-Oost | 1/4000 | 1/4000 |
| 6-1 | Friesland-Groningen-Lauwersmeer | 1/4000 | 1/4000 | 32-1 | Zeeuwsch Vlaanderen-West | 1/4000 | 1/4000 |
| 6-2 | Friesland-Groningen-Groningen | 1/4000 | 1/4000 | 32-2 | Zeeuwsch Vlaanderen-Oost | 1/4000 | 1/4000 |
| 6-3 | Friesland-Groningen-NoordFriesland | 1/4000 | 1/4000 | 34-1 | West-Brabant | 1/2000 | 1/500 |
| 6-4 | Friesland-Groningen-IJsselmeer | 1/4000 | 1/4000 | 34a-1 | Geertruidenberg | 1/2000 | 1/500 |
| 7-1 | Noordoostpolder | 1/4000 | 1/2000 | 35-1 | Donge | 1/2000 | 1/1000 |
| 8-1 | Flevoland-Noordoost | 1/4000 | 1/4000 | 36-1 | Land v Heusden/de Maaskant | 1/1250 | 1/250 |
| 8-2 | Flevoland-ZuidWest | 1/4000 | 1/2000 | 36a-1 | Keent | 1/1250 | 1/500 |
| 9-1 | Vollenhove | 1/1250 | 1/250 | 37-1 | Nederhemert | 1/1250 | 1/500 |
| 10-1 | Mastenbroek | 1/2000 | 1/1000 | 38-1 | Bommelerwaard-Waal | 1/1250 | 1/1250 |
| 11-1 | IJsseldelta | 1/2000 | 1/1000 | 38-2 | Bommelerwaard-Maas | 1/1250 | 1/500 |
| 12-1 | Wieringen | 1/4000 | 1/2000 | 39-1 | Alem | 1/1250 | 1/500 |
| 13-1 | Noord-Holland-Noord | 1/10000 | 1/10000 | 40-1 | Heerenwaarden-Waal | 1/2000 | 1/250 |
| 13-2 | Noord-Holland-Westfriesland | 1/10000 | 1/10000 | 40-2 | Heerenwaarden-Maas | 1/500 | 1/250 |
| 13-4 | Noord-Holland-Waterland | 1/10000 | 1/10000 | 41-1 | Land van Maas en Waal-Waal | 1/1250 | 1/500 |
| 13b-1 | Marken | 1/1250 | 1/500 | 41-2 | Land van Maas en Waal-Maas | 1/1250 | 1/500 |
| 14-1 | Zuid-Holland-Kust | 1/10000 | 1/10000 | 42-1 | Ooij en Millingen | 1/1250 | 1/500 |
| 14-2 | Zuid-Holland-NweWaterweg-West | 1/10000 | 1/10000 | 43-1 | Betuwe, Tieler- en C'waarden | 1/1250 | 1/250 |
| 14-3 | Zuid-Holland-NweWaterweg-Oost | 1/10000 | 1/10000 | 44-1 | Kromme Rijn-Rijn | 1/1250 | 1/500 |
| 15-1 | Lopiker- en Krimpenerwaard | 1/2000 | 1/1000 | 44-2 | Kromme Rijn-Meren | 1/1250 | 1/500 |
| 16-1 | Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden | 1/2000 | 1/1000 | 45-1 | Gelderse Vallei-Rijn | 1/1250 | 1/1250 |
| 17-1 | IJsselmonde | 1/4000 | 1/2000 | 45-2 | Gelderse Vallei-Meren | 1/1250 | 1/500 |
| 18-1 | Pernis | 1/10000 | 1/5000 | 46-1 | Eempolder | 1/1250 | 1/500 |
| 19-1 | Rozenburg | 1/10000 | 1/5000 | 47-1 | Arnhemse- en Velpsebroek | 1/1250 | 1/500 |
| 20-1 | Voorne-Putten-West | 1/4000 | 1/4000 | 48-1 | Rijn en IJssel-Boven | 1/1250 | 1/500 |
| 20-2 | Voorne-Putten-Midden | 1/4000 | 1/4000 | 48-2 | Rijn en IJssel-Beneden | 1/1250 | 1/500 |
| 20-3 | Voorne-Putten-Oost | 1/4000 | 1/4000 | 49-1 | IJsselland | 1/1250 | 1/500 |
| 21-1 | Hoekse Waard | 1/2000 | 1/1000 | 50-1 | Zutphen | 1/1250 | 1/500 |
| 22-1 | Eiland van Dordrecht | 1/2000 | 1/1000 | 51-1 | Gorssel | 1/1250 | 1/500 |
| 24-1 | Land van Altena | 1/2000 | 1/1000 | 52-1 | Oost Veluwe | 1/1250 | 1/250 |
| 25-1 | Goeree-Overflakkee-Noordzee | 1/4000 | 1/4000 | 53-1 | Salland | 1/1250 | 1/500 |
| 25-2 | Goeree-Overflakkee-Haringvliet | 1/4000 | 1/2000 | 65-1 | Arcen | 1/250 | 1/125 |
| 26-1 | Schouwen Duiveland-West | 1/4000 | 1/4000 | 68-1 | Venlo-Velden Noord | 1/250 | 1/125 |
| 26-2 | Schouwen Duiveland-Oost | 1/4000 | 1/2000 | 86-1 | Maasband | 1/250 | 1/125 |
| 27-1 | Tholen en St. Philipsland | 1/4000 | 1/4000 | 87-1 | Meers | 1/250 | 1/125 |

Tabel 7.2 Overstromingskansen per jaar per dijkringdeel voor de eerste en tweede referentiesituatie

Rol van beide referentiesituaties in het onderzoek

De referentiesituaties vormen het vertrekpunt voor de MKBA. De MKBA heeft daarbij twee doelen: (i) het bepalen van economisch optimale beschermingsniveaus per dijkkringdeel en (ii) het in beeld brengen van de benodigde investeringen om deze beschermingsniveaus te realiseren. Voor de economisch optimale beschermingsniveaus geldt dat deze weinig tot niet afhankelijk zijn van de overstromingskans in de referentiesituatie (zie Kind, 2011). De benodigde investeringen zullen bij de tweede referentiesituatie (beduidend) hoger uitvallen; een logisch uitvloeisel van de (veelal) grotere overstromingskansen dan bij de eerste referentiesituatie. De afstand tussen de referentiekansen en de berekende economisch optimale kansen zal bij de tweede referentie immers veelal groter zijn.

Bij de tweede referentiesituatie wordt rekening gehouden met nieuwe inzichten in ondermeer de bijdrage van piping aan de overstromingskans. Die nieuwe inzichten komen niet alleen tot uitdrukking in een grotere overstromingskans, maar – in vergelijking tot de eerste referentiesituatie - ook in hogere kosten om extra bescherming te realiseren. Deze relatief hogere kosten zullen leiden tot iets minder scherpe economisch optimale beschermingsniveaus dan bij de eerste referentiesituatie.

Voor de analyse van slachtofferrisico's geeft de tweede referentiesituatie een andere set overstromingskansen. Het lokaal individueel risico zal door de grotere overstromingskansen in een deel van de dijkringen toenemen, vooral in het rivierengebied. Ook het landelijk groepsrisico zal bij de tweede referentiesituatie groter zijn dan het risico bij de eerste referentiesituatie. De bijdrage van het rivierengebied aan het slachtofferrisico wordt ten opzichte van de eerste referentiesituatie vergroot.

Bij zowel de kosten-batenanalyse als de analyse van slachtofferrisico's is een reeks gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd in de context van de eerste referentiesituatie.

7.2.2 Samenhang tussen beide referentiesituaties in het kostenspoor

De uitgangspunten van de referentiesituaties zijn in het kostenspoor met name gebruikt om tot een praktische invulling te komen met betrekking tot de dimensies van de waterkeringen in de vertreksituatie. Het geeft daarmee het vertrekpunt voor het ramen van de kosten van dijkverhogingen: een bepaalde mate van dijkverhoging van een in aanvang forse dijk is immers duurder dan dezelfde mate van verhoging van een kleiner dijkprofiel.

Allereerst is de overstromingskans geldend voor de betreffende referentiesituatie vertaald naar de overstromingskans voor een enkel dijkvak. De overstromingskans van de dijkkring als geheel is immers groter dan die van één enkel dijkvak, omdat er altijd een bepaalde mate van onafhankelijkheid kan bestaan tussen twee vakken, waardoor (delen van) kansen moeten worden opgeteld om tot een totale overstromingskans te komen. Bij de vertaling van dijkkring naar dijkvak wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde dijkkringdeelfactoren, zoals beschreven in Kuijper (2011).

In de berekeningen voor de referentiesituaties van de MKBA is het uitgangspunt dat geen rekening wordt gehouden met eventueel aanwezige overhoogte of -sterkte in de waterkeringen. Een kering voldoet dus exact aan de overstromingskansen die zijn bepaald in de referentiesituaties. De overhoogte en oversterkte zijn buiten beschouwing gelaten omdat:

- deze moeilijk nauwkeurig zijn vast te stellen. Oversterkte is nog lastiger vast te stellen dan overhoogte omdat niet alle overhoogte ook daadwerkelijk als kerend mag worden beschouwd;
- hiermee 'toevalligheden uit het verleden' worden beloond en daardoor niet elke dijkkring een gelijke uitgangssituatie in de berekeningen van economisch optimale overstromingskansen kent. De min of meer toevallige aanwezigheid van overhoogte kan leiden tot verschillen in de berekende economisch optimale overstromingskansen bij voor het overige identieke dijkkringen.

In het kansenspoor is de afname van de overstromingskans gekoppeld aan een bepaalde mate van kruinhoogtestijging van een dijk. In het kostenspoor worden bij deze zelfde kruinhoogtestijging de kosten bepaald. Feitelijk worden door combinatie van de twee functies in OptimaliseRing de kosten bepaald voor het laten afnemen van de overstromingskans van een dijkkringtraject.

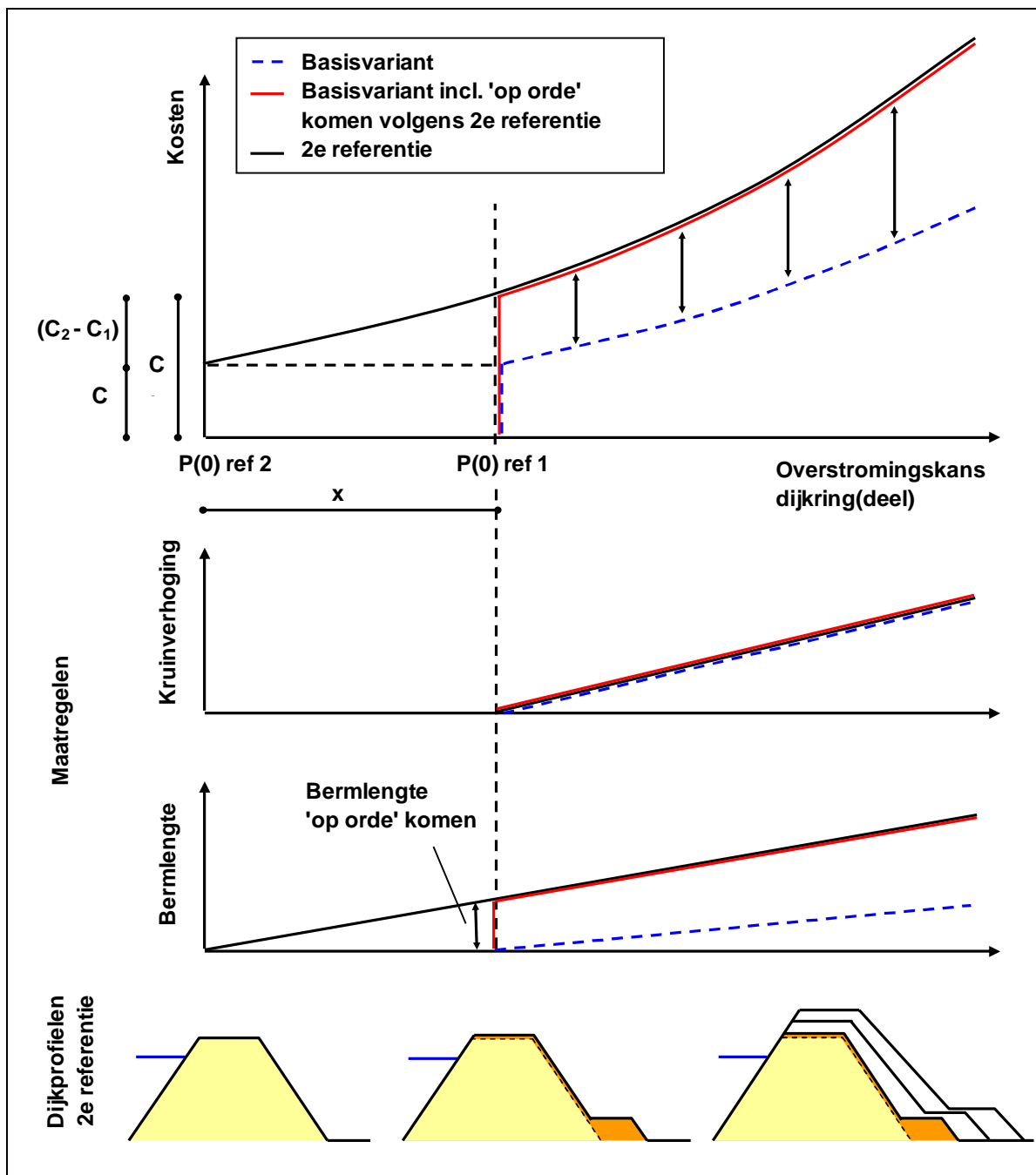
In Figuur 7.1 is de samenhang tussen de kostenfuncties van de eerste en tweede referentiesituatie weergegeven, waarbij de kosten zijn uitgezet tegen de afname van de overstromingskans. De blauw gestreepte lijn geeft de kostenfunctie van de eerste referentie, de basisvariant. Deze start op de x-as bij de overstromingskans uit de eerste referentiesituatie, $P(0)$ ref 1, en het daarbij behorende dijkprofiel. De vaste kosten C_1 bestaan hierbij uit de vervanging van infrastructuur in de versterkingszone en de afwerking van het dijkprofiel. Dit zijn de kosten die theoretisch al bij een centimeter dijkverhoging aan de orde zouden zijn. De kosten lopen verder op naarmate de overstromingskans verder afneemt, ofwel naarmate de dijk verder verhoogd wordt.

Zoals aangegeven wijkt de tweede referentiesituatie af van de eerste ten aanzien van de overstromingskans in de aanvangssituatie. Deze grotere overstromingskans per dijkkringdeel wordt in deze analyse volledig toegeschreven aan het faalmechanisme piping en de invloed van het lengte-effect bij dit mechanisme, waarmee tot nu toe geen rekening wordt gehouden in het ontwerp en bij de toetsing.. Kort gezegd wordt daarmee geïmpliceerd dat aan de dijk die wordt gebruikt in de basisvariant een extra stuk kwelweglengte (in de vorm van een pipingberm of een vertikaal scherm) zou moeten worden toegevoegd om daadwerkelijk aan de overstromingskansen behorend bij deze eerste referentie ($P(0)$ ref 1) te voldoen. Tevens zouden met de nieuwe pipinginzichten de kwelweglengtes (en dus de kosten) bij verdere versterking sneller toenemen (zie paragraaf 3.5 voor de nieuwe veiligheidsfactor voor piping waarmee deze toename van de kwelweglengte bij een stijgende waterstand per locatie is bepaald). Dit inzicht zou leiden tot een kostencurve in de basisvariant die bij een zelfde startpunt op de x-as hoger zou beginnen (er wordt immers direct al een extra berm¹ aangelegd om te voldoen aan de kansen zoals gehanteerd in de eerste referentiesituatie) en steiler zou lopen bij verdere verhoging (de pipingmaatregelen zullen over het algemeen groter zijn ten gevolge van het lengte-effect). Dit zou in Figuur 7.1 leiden tot de rode lijn. De vaste kosten C_2 omvatten dus naast de vaste kosten C_1 die we al hadden een deel voor de aanleg van de extra pipingberm (het zogenaamde 'op orde' komen van de kansen van de tweede referentiesituatie naar die van de eerste).

Met de tweede referentie verandert in de MKBA per dijkkringdeel de overstromingskans in de uitgangssituatie. Dit leidt in het kansenspoor tot een ander startpunt van de kanscurve op de

1. *Het is de vraag of in een werkelijk dijkontwerp een pipingberm nog steeds de goedkoopste oplossing is, wanneer de kwelweglengtes zeer groot worden. De kosten zullen bij een groter ruimtebeslag immers snel toenemen, waardoor het wellicht voor de hand ligt in plaats van een berm een kwelwalscherm of een grindkoffer aan te brengen.*

x-as, de zogenaamde $P(0)$. Deze verschuift in Figuur 7.1 van $P(0)$ ref 1 naar links naar een grotere $P(0)$ ref 2. Om in OptimaliseRing de koppeling tussen de kansfunctie en de kostenfunctie wiskundig juist te laten verlopen dienen beide functies eenzelfde startpunt te hebben én een zelfde betekenis van de waarden op de x-as, in dit geval een bepaalde mate van dijkverhoging. De eerder bepaalde kostenfunctie (in rood) heeft echter een ander startpunt dan de nieuwe functie in het kansenspoor en beide functies passen daarmee niet meer op elkaar in OptimaliseRing.



Figuur 7.1 Samenhang eerste en tweede referentiesituatie in het kostenspoor

De oplossing is om de kostenfunctie ook te laten beginnen bij de nieuwe waarde van $P(0)$ ref 2, en het daarbij behorende dijkprofiel. De kostenfunctie geeft echter het verband weer tussen kruinverhoging en de kosten, en zoals in Figuur 7.1 in de onderste twee grafieken is te zien is er in het traject tussen $P(0)$ ref 2 en $P(0)$ ref 1 nog helemaal geen kruinverhoging aan de orde, enkel verlenging van de pipingberm. De kostenfunctie afgezet tegen de kruinverhoging begint feitelijk dus pas te lopen ter plaatse van $P(0)$ ref 1.

Om de kostenfunctie toch te kunnen laten beginnen in $P(0)$ ref 2, wordt een 'fictieve kruinverhoging' over dit eerste traject tot $P(0)$ ref 1 geïntroduceerd. Deze dient er enkel en alleen voor om de kansfunctie en de kostenfunctie in OptimaliseRing op elkaar aan te laten sluiten en heeft in praktijk geen betekenis. De grootte van deze fictieve kruinverhoging wordt ontleend aan het kansenspoor, als volgt: met de aanleg van de extra pipingberm in de beginsituatie wordt de overstromingskans in theorie gereduceerd van $P(0)$ ref 2 naar $P(0)$ ref 1. In het kansenspoor wordt een zelfde reductie van de overstromingskans bereikt met een bepaalde mate van dijkverhoging. De grootte van deze benodigde (feitelijk 'fictieve') dijkverhoging is het aantal 'decimeringen' van de overstromingskans die bereikt worden met de pipingberm ($=\text{LOG}(P(0) \text{ ref } 1/P(0) \text{ ref } 2)$) vermenigvuldigd met de geldende decimeringshoogte op de kruin.

De eerder berekende kosten C_2 worden in de kostenfunctie nu bij deze 'fictieve kruinverhoging' op de x-as geplaatst. De curve begint bij $P(0)$ ref 2 (in $dh = 0$) met de vaste kosten C_1 . Dit bestaat uit dezelfde kosten voor aanpassing van infrastructuur en afwerking van het dijkprofiel zoals we die eerder vonden voor de basisvariant. Het is immers nagenoeg hetzelfde dijkprofiel dat we hier aanpassen (zie ook paragraaf 7.2.3). Tussen $P(0)$ ref 2 (ofwel $dh = 0$ in de kostenfunctie) en $P(0)$ ref 1 (waarbij dh gelijk is aan de 'fictieve' kruinverhoging) zijn de kosten lineair aangenomen. Rechts van dit punt (bij verdere vergroting van de kruinhoogte) heeft de kostenfunctie een ongewijzigd verloop (de eerder bepaalde rode curve). De curve zoals deze nu is afgeleid is in zwart aangegeven in Figuur 7.1. Dit is de kostencurve behorend bij de tweede referentiesituatie.

De kruinverhogingen die met de aldus ontstane curve berekend worden in OptimaliseRing dienen voor deze 'fictieve kruinverhoging' gecorrigeerd te worden. In werkelijkheid zal in eerste instantie immers geen kruinverhoging aan de orde zijn, maar enkel de aanleg van een berm.

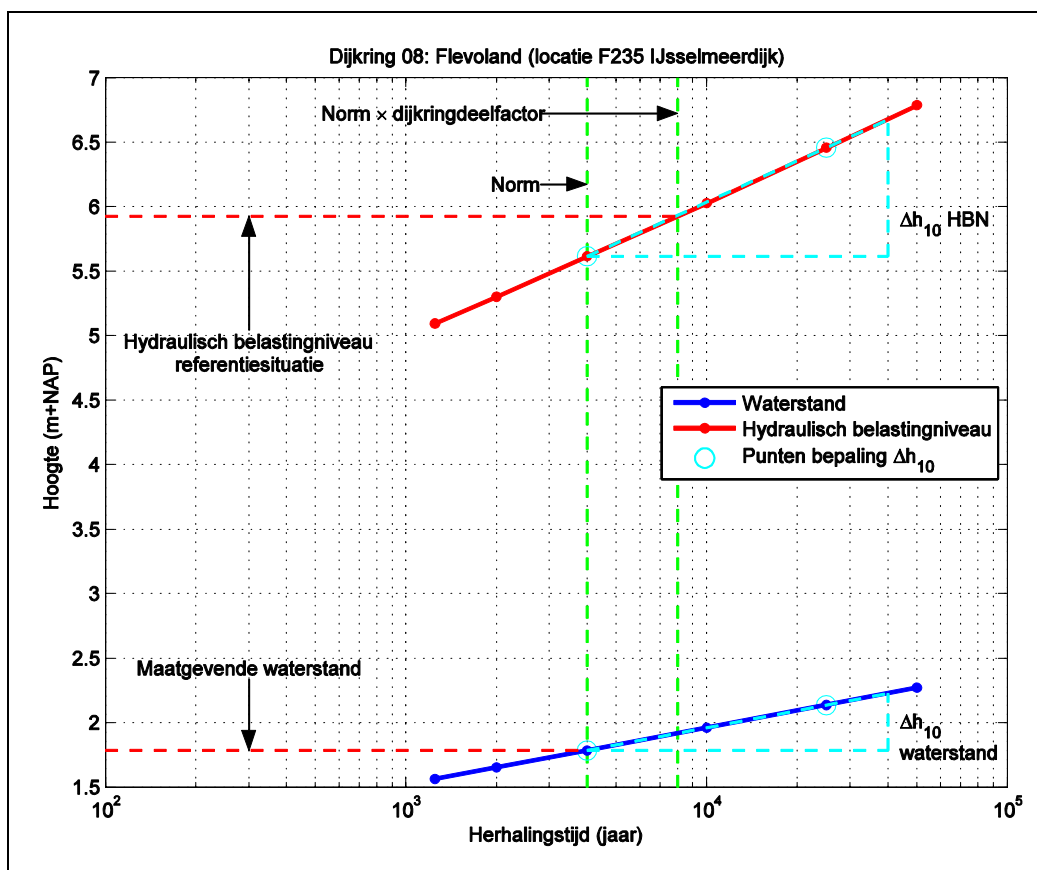
7.2.3 Dijkprofiel in de referentiesituaties

Met behulp van de gegevens aangeleverd door de beheerder en de hydraulische gegevens ter plaatse wordt per dijkvak een fictief dijkprofiel bepaald voor de uitgangssituatie van de kostenramingen. Voor de basisvariant geldt dat deze qua hoogte exact voldoet aan de hydraulische randvoorwaarden bij de gestelde norm. Om zoveel mogelijk aansluiting te houden met het representatieve profiel op een vak (aangeleverd door de beheerder) worden hierbij de hydraulische gegevens van het geografisch dichtstbijzijnde Hydra-punt gebruikt. Er is visueel gecontroleerd of dit punt inderdaad als representatief voor het betreffende dijkvak kan worden beschouwd.

Voor het bepalen van de waterstanden en de Hydraulisch Belasting Niveaus (HBN) waaraan de dijk in de referentiesituatie dient te voldoen, wordt gebruik gemaakt van de in het kansenspoor berekende frequentielijnen. Deze lijnen geven op een groot aantal locaties het verband weer tussen de waterstand of het HBN en de overschrijdingsfrequentie daarvan per jaar, gegeven het beschouwde klimaat- en afvoerscenario. Door middel van interpolatie wordt

het benodigde HBN berekend bij de overstromingskans voor het dijkvak in de referentiesituatie, namelijk de norm vermenigvuldigd met de dijkkringdeelfactor. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 7.2. De waterstand in de referentiesituatie die daarbij hoort is de waterstand bij de genoemde normfrequentie zelf. Voor de waterstand geldt de onafhankelijkheid tussen diverse trajecten immers in mindere mate dan voor het HBN, hier wordt geen dijkkringfactor toegepast.

In de grafiek zijn tevens de decimeringshoogtes voor het HBN (hier weergegeven met Δh_{10} kruinhoogte) en de waterstand (Δh_{10} waterstand) weergegeven. Het HBN in de referentiesituatie en in mindere mate de decimeringshoogte is afhankelijk van de keuze van het kritieke golfoverslagdebiet. Voor de basisvariant in WV21 is gekozen voor een kritiek overslagdebiet van 1l/s/m. Met deze keuze wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de uitgangspunten die worden gebruikt in de huidige ontwerpraktijk (Kuijper, 2011).



Figuur 7.2 Voorbeeld berekening kruinhoogte basisvariant voor een locatie langs het IJsselmeer

Voor de kruinhoogte van het profiel in de basisvariant geldt dat wanneer het HBN meer dan 0,5 meter boven het MHW ligt, de kruinhoogte van de dijk in de uitgangssituatie gelijk wordt gekozen aan het berekende HBN. Wanneer deze afstand minder is dan 0,5 meter wordt het MHW + 0,5 m als kruinhoogte aangehouden om te voldoen aan de eisen betreffende de minimale waakhogte.

Voor de tweede referentie is gekozen voor een dijkprofiel in de aanvangssituatie die qua hoogte meer aansluit bij de huidige toetssystematiek op de maatgevende overschrijdingskans. De tweede referentie sluit daarmee in dit opzicht beter aan bij het huidige systeem. Hierbij wordt het HBN bij de normfrequentie gehanteerd, dus exclusief de

dijkkringfactor. Er wordt op dezelfde manier omgegaan met waakhoogte. Dit uitgangspunt betekent concreet dat bij bij eerste versterking een extra stapje in de hoogte gemaakt moet worden om weer aan de gestelde eisen inclusief de dijkkringfactor te voldoen zoals in de basisvariant. De extra kosten hiervoor zijn marginaal wanneer toch al aan het dijkprofiel gewerkt wordt, zeker als al bermen aangelegd dienen te worden om 'op orde' te komen. Deze kosten zijn verwerkt in de factor C_2 van Figuur 7.1. Het vermeende hoogtetekort is niet verwerkt in het kansenspoor in de referentiekans $P(0)$, maar komt enkel tot uitdrukking in het kostenspoor.

Voor de overige dimensies van de dijk geldt dat zoveel mogelijk wordt uitgegaan van hetgeen door de beheerders is aangeleverd. Dit heeft betrekking op gegevens omtrent de buitenberm en het buitentalud, de kruinbreedte, helling van het binnentalud en dimensies van eventueel in aanvang aanwezige bermen aan de binnenzijde van de dijk. Het profiel dat hiermee wordt geconstrueerd wordt aangeduid met de term 'dijk in de referentiesituatie'. De kosten om van het profiel zoals dat is aangeleverd door de beheerder naar het 'dijk in de referentiesituatie' profiel te komen, worden nadrukkelijk niet beschouwd.

Ook in de uitgevoerde RRD analyse zijn in principe de theoretische dimensies van een 'dijk op orde' bepaald met het doorrekenen van hydraulisch scenario 4 (zie paragraaf 3.5). Dit profiel is echter niet gebruikt, omdat de verwachting is dat het door de beheerder aangeleverde profiel meer recht doet aan hetgeen daadwerkelijk in het veld te vinden is. Verschillen met het profiel berekend in de RRD analyse kunnen meerdere oorzaken hebben, bijvoorbeeld dat in de RRD voorland niet goed is meegenomen, aannames binnen het stochastisch ondergrondmodel, of doordat een dijk in het veld ook andere functies vervult (bijvoorbeeld met betrekking tot infrastructuur). De RRD analyse is dus enkel gebruikt om een relatieve toename van de berm lengtes (voor piping en stabiliteit) te berekenen bij een stijgende waterstand.

7.2.4 Omgang met kunstwerken en bekleding

Voor kunstwerken is analoog aan de waterkeringen het uitgangspunt gehanteerd dat in de eerste referentiesituatie het kunstwerk precies aan de huidige normen voldoet. Voor de analyses is er daarbij vanuit gegaan dat de overstromingskans van de onderscheiden dijkkringdelen getalsmatig gelijk is aan de geldende overschrijdingskans. Door de gehanteerde toetsregels waarbij nog aanvullende eisen worden gesteld aan de constructieve sterkte van de kunstwerken zullen kunstwerken uiteindelijk niet noemenswaardig bijdragen aan de totale overstromingskans in een dijkkringdeel. Dit betekent wel dat in geval van een dijkverhoging op een traject het kunstwerk meeversterkt dient te worden. In de kostencurve van het betreffende dijkkringdeel zijn, de eventuele in het dijkkringdeel aanwezige kunstwerken, meegenomen waarbij als uitgangspunt is gehanteerd dat bij een 10 maal kleinere kans het kunstwerk zo versterkt dient te worden dat het een waterstand kan keren die een decimeringshoogte hoger is dan in de referentiesituatie.

Voor dijkbekleding is een zelfde soort uitgangspunt gekozen als bij kunstwerken, waardoor bij een zekere mate van waterstandsstijging en kruinverhoging op een vak in theorie ook direct alle buitenbekleding versterkt dient te worden. Bij bekleding wordt er in de kostenmodules echter rekening mee gehouden dat een dergelijke ingreep niet noodzakelijkerwijs meteen voor de gehele lengte van het beschouwde dijkvak nodig hoeft te zijn. Door het hanteren van deze systeemaannamen wordt het zeer 'abrupt' ontstaan van zeer hoge kosten van maatregelen bij een minimale verhogingsstap enigszins voorkomen. In de aannames die

hierbij zijn gehanteerd worden de huidige ontwerphorizon en de beoogde levensduur van de nu reeds aanwezige bekleding meegenomen.

Voor de tweede referentiesituatie is aangenomen dat de grotere overstromingskansen in de beginsituatie zijn veroorzaakt door de onderschatting van het lengte-effect van piping. Voor kunstwerken en dijkbekleding heeft dit geen consequenties. Deze kosten blijven ongewijzigd, en beginnen voor beide referentiesituaties te lopen bij P(0) ref 1.

7.2.5 Grensoverschrijdende dijkringen

Dijkringen 42 en 48 liggen deels op Duits grondgebied. Bij een doorbraak in deze dijkringen zal de meeste schade optreden in Nederland (De Bruijn, 2011). Een belangrijk deel van de dijken ligt echter in Duitsland. Het verkleinen van de overstromingskans vergt dus een gezamenlijke aanpak. In de basisvariant zijn daarom bij het berekenen van de economisch optimale overstromingskansen zowel de gevolgen als de kosten in Duitsland globaal meegenomen.

Het Duitse deel van dijkkring 42 heeft een lengte van zo'n 42,6 km en sluit aan op dijkkringtraject 42-1-1. Omdat van het Duitse gedeelte van de dijkkring geen profielgegevens bekend zijn, wordt de kostencurve voor dit traject geëxtrapoleerd naar het Duitse gedeelte van de dijkkring. De parameter λ van de curve (de vormparameter) blijft hierbij gehandhaafd, de parameters C (vaste kosten) en b (variabele kosten per cm verhoging) worden daarbij geschaald naar rato van het aantal kilometers. Het percentage extra B&O wordt eveneens gehandhaafd. Het nieuwe traject in Duitsland krijgt de trajectcode 42-1-3.

Een zelfde aanpak wordt gekozen voor het Duitse traject in dijkkring 48, traject 48-1-4, met een lengte van 42 km. Voor deze extrapolatie wordt de kostencurve van traject 48-1-1 gebruikt. De kostencurves voor het Duitse deel zijn toegevoegd aan de kostendatabase, zoals gepresenteerd in Bijlage G.

De grensoverschrijdende dijkringen in Zeeuws Vlaanderen worden in de MKBA analyse niet beschouwd.

7.2.6 Kusttrajecten dijkkring 14

Voor de kusttrajecten in dijkkring 14 geldt dat deze veelal uit boulevard-achtige constructies bestaan (respectievelijk Zandvoort, Noordwijk, Katwijk en Scheveningen). Een reguliere dijkversterking zoals behandeld in hoofdstuk 3 is hier veelal niet rechtstreeks aan de orde. Om deze reden wordt voor de vier trajecten (14-1-1 t/m 14-1-4) als grove referentie voor de kostenraming uitgegaan van de kosten van een kistdam met een breedte van 8 meter, met een verticale lengte gelijk aan tweemaal de kerende hoogte t.o.v. NAP. Verondersteld wordt dat de keringen in de uitgangssituatie zo rond de NAP + 5 m liggen.

Tevens wordt geconstateerd dat voor Katwijk en in mindere mate Scheveningen de dijkkringlijn in het dijkkringlijnenbestand van RWS dwars door bestaande bebouwing loopt, terwijl het in geval van grootschalige versterking vanuit het oogpunt van kosten waarschijnlijk meer voor de hand zou liggen een nieuw trace voor de kering te kiezen parallel aan de boulevard. Dit wordt in deze studie beschouwd als de minimale kostenvariant. Voor de twee trajecten waar dit aan de orde is, zijn daarom de trajectlengtes handmatig aangepast op basis van een visuele inschatting aan de hand van Google Earth. Uiteraard zijn in praktijk andere oplossingen mogelijk, wanneer daarbij eventuele meerkosten optreden, staan daar ook

andere baten tegenover. De aldus geschatte kosten zijn weergegeven in de tabel in Bijlage G.

7.2.7 Resultaten kostenramingen referentiesituaties

Op basis van het voorgaande is met de methode beschreven in de hoofdstukken 2 t/m 6 en 7.2.2 voor ieder onderscheiden dijkkringtraject een tweetal kostenfuncties afgeleid, voor de beide referentiesituaties. Een tabel met kostenschattingen voor de basisvariant, zoals deze zijn aangeleverd voor gebruik in OptimaliseRing is gegeven in Bijlage G. Een kaart van de eenheidsprijzen per kilometer voor ieder traject bij een verhoging van één decimeringshoogte is gegeven in Bijlage H. Een tabel met ramingen voor de tweede referentie is gegeven in Bijlage I, de bijbehorende kaart is gegeven in Bijlage J.

In de tabellen zijn per dijkkringtraject de lengte en de toegepaste decimeringshoogtes op de waterstand en het HBN gerapporteerd. Tevens staan in de tabellen de parameters voor de exponentiële kostenfunctie gegeven, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Ook zijn hierin de kosten gepresenteerd voor (kruin)verhogingsstappen van achtereenvolgens 25, 50, 100 en 200 cm en de verhoging van 1 decimeringshoogte. Tenslotte staat in bijlage G in de laatste kolom het toe te passen percentage voor extra beheer en onderhoud, zoals beschreven in paragraaf 2.2.5.

In bijlage I staat in de laatste kolom het procentuele verschil in kosten voor de vergroting van de veiligheid met een factor 10 van de tweede referentie ten opzichte van de eerste referentiesituatie. Dit is een factor 10 ten opzichte van de in de referentiesituaties geldende startkansen, zoals gegeven in Tabel 7.2. Deze zijn dus niet altijd één-op-één vergelijkbaar.

Let op: de kosten van de basisvariant zijn geraamd begin 2010, terwijl de tweede referentiesituatie een jaar later berekend is, begin 2011. In het kosteninstrumentarium zijn in de loop van het jaar enige verbeteringen doorgevoerd die op sommige vakken tot verschillen in kosten hebben geleid. Meestal zijn deze kostenverschillen per traject marginaal (kleiner dan 10%), of vallen ze weg in de kosten van het hele dijkkringdeel, en hebben derhalve geen invloed op de uitkomsten van de MKBA. Voor de gewijzigde trajecten die op dijkkringdeelniveau tot meer dan 10% afwijking veroorzaken bij een verhoging van één decimeringshoogte is in Bijlage G een extra tabel opgenomen met de nieuwe kostenfunctieparameters. De eerder aangegeven procentuele verschillen tussen de eerste en de tweede referentiesituatie zijn gebaseerd op de nieuwe 2011 versie van de basisvariant, om een eerlijkere vergelijking te kunnen maken.

Op de kaarten zijn de kosten per kilometer gegeven bij het verzwaren van de norm met een factor 10. Dit zijn puur de kosten van het verhogen (en verzwaren) van de dijk met één decimeringshoogte. In deze kosten zijn geen extra verhogingen ten behoeve van levensduur van de versterking en eventuele robuustheidstoelagen gepresenteerd. Het geeft daarmee puur de kosten van normverzwaring weer. In het model OptimaliseRing is met de levensduur van een ontwerp wel degelijk rekening mee gehouden, omdat hierbij ook de economisch optimale investeringsintervallen worden bepaald.

7.3 Gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario

7.3.1 Algemeen

In de basisvariant is, conform de aanwijzingen in het Nationaal Waterplan, uitgegaan van het KNMI scenario Warm+. In dit scenario stijgt de zeespiegel aan de Nederlandse kust met 35 cm tussen 1990 en 2050, en met 50 cm tussen 2050 en 2100. In de kosten-batenanalyse is uitgegaan van de gemiddelde stijging voor de eerste periode tot 2050. In deze gevoeligheidsanalyse daarentegen is uitgegaan van klimaatscenario Gematigd+, waarin de zeespiegel stijgt met 25 cm tussen 1990 en 2050, en met 65 cm tussen 1990 en 2100. Ook nu is uitgegaan van de gemiddelde stijging voor de eerste periode tot 2050.

In de basisvariant is de Rijnafvoer ter hoogte van Lobith afgetopt op 16.500 m³/s in de huidige situatie, op 17.000 m³/s in 2050 en 18.000 m³/s in 2100. Als door een verandering van het beleid in Duitsland de beschermingsniveaus in Duitsland worden verhoogd, dan kan deze voor Nederland gunstige situatie veranderen. De decimeringshoogtes nemen toe en de economisch optimale overstromingskansen vallen daardoor groter uit. In deze gevoeligheidsanalyse is de Rijnafvoer daarom niet afgetopt.

Waar in het bovenrivierengebied in de basisvariant de decimeringshoogte op de waterstand door het aftoppen min of meer richting de 0 cm werd getrokken, terwijl de decimeringshoogte op de kruin nog opliep door toenemende windsnelheden en golfploop, zijn in deze gevoeligheidsanalyse zonder aftoppen de beide decimeringshoogtes op de waterstand en het HBN meer in balans. Omgekeerd geredeneerd betekent dit dat bij een bepaalde mate van kruinverhoging (waaraan de kostenramingen immers zijn opgehangen) een grotere waterstandsstijging is te verwachten, wat zwaardere maatregelen voor het mechanisme piping en stabiliteit vereist.

7.3.2 Beschouwde dijkkringtrajecten

Uitgangspunt binnen deze gevoeligheidsanalyse in het kansenspoor is dat de Nederrijn Lek wordt ontzien (Kuijper, 2011). Dit betekent concreet dat de hydraulische randvoorwaarden die aangeleverd worden aan het kostenspoor op deze riviertak niet wijzigen ten opzichte van de basisvariant. Dit geldt tevens voor de trajecten in het kust- en estuariagebied, en het IJsselmeergebied. Wijzigingen in het klimaatscenario komen tot uitdrukking in de kansformule die wordt aangeleverd aan OptimaliseRing, maar hebben geen invloed op het 'referentie' profiel dat wordt gebruikt in het kostenspoor. De analyse die in het kostenspoor wordt uitgevoerd binnen deze gevoeligheidsanalyse beperkt zich daarmee tot de IJssel, het Pannerdensch Kanaal, het bovenstrooms daarvan gelegen deel van de Rijn, en de Waal.

7.3.3 Gewijzigde gegevens ten opzichte van de basisvariant

Vanuit het kansenspoor is voor de beschouwde dijkkringtrajecten (zie de vorige paragraaf) een nieuwe set hydraulische gegevens aangeleverd, specifiek geldig voor deze gevoeligheidsanalyse. De gehanteerde methode om vanuit deze gegevens naar een 'referentie' profiel te komen is exact gelijk aan de methode toegepast in de basisvariant. Het referentieprofiel zal er echter wel anders uit komen te zien, met andere woorden, de kostenramingen kunnen theoretisch gebaseerd zijn op het versterken van een fysiek andere dijk. Tevens kunnen de kosten om in een gebied een factor 10 veiliger te worden afwijken,

doordat de decimeringshoogtes en de verhouding tussen de decimeringshoogte op de kruin en de waterstand sterk kunnen verschillen. Dit laatste leidt bij een zelfde kruinverhoging tot een grotere verhoging van de waterstand, wat meer kosten ten aanzien van piping met zich meebrengt.

7.3.4 Resultaten ramingen gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario

Een tabel met kostenschattingen voor deze gevoeligheidsanalyse, zoals deze zijn aangeleverd voor gebruik in OptimaliseRing is gegeven in Bijlage K.1. Er wordt in deze rapportage slechts een beperkte vergelijking gemaakt tussen de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse en de ramingen van de basisvariant, omdat in samenhang met de wijziging in deze kostengetallen ook de gegevens in het kansenspoor wijzigen. Vergelijken van de kosten van 1 meter dijkverhoging is uiteraard mogelijk, maar in beide gevallen wordt daarbij een verschillende mate van risicoreductie bereikt in de MKBA. In de laatste kolom van de tabel in de bijlage is wel een verschilpercentage aangegeven ten opzichte van de basisvariant bij een verhoging van 1 decimeringshoogte. Dit komt in beide gevallen overeen met het vergroten van de veiligheid met een factor 10. In beide gevallen hoort hier echter een geheel andere dijk in de referentiesituatie, en een andere waterstands- en kruinhoogtestijging bij.

7.4 Gevoeligheidsanalyse overhoogte en -sterkte

7.4.1 Algemeen

In de basisvariant is geen rekening gehouden met eventueel aanwezige overhoogte en oversterkte op een dijkkringtraject. In deze gevoeligheidsanalyse wordt binnen de MKBA nagegaan wat het mogelijke effect is op de economisch optimale overstromingskansen en op de verwachte investeringsbedragen wanneer er wel rekening gehouden zou worden met overhoogte.

In dit geval is de overhoogte gedefinieerd als het verschil tussen de door de beheerder aangeleverde hoogte van de waterkering en de benodigde hoogte in de referentiesituatie. In de analyse is ervan uitgegaan dat de door de beheerder opgegeven hoogte ook daadwerkelijk kerend is, met andere woorden ook voldoet voor piping en stabiliteit. Tevens is ervan uitgegaan dat de eventueel aanwezige bekleding en kustwerken eveneens voldoen tot deze hoogte. Deze gevoeligheidsanalyse moet daarom gezien worden als een bovengrensbenadering.

Deze gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor een drietal dijkkringen, te weten dijkkring 26, 36 en 44. Voor deze dijkkringen is een nieuwe set kostenramingen afgeleid.

7.4.2 Aansluiting op het kansenspoor

Wanneer op een dijkkringtraject over de gehele lengte een zekere mate van overhoogte aanwezig is, betekent dit feitelijk dat het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) vanaf de beginsituatie die hoort bij de referentiesituatie verhoogd kan worden, zonder dat daar nog kosten tegenover staan. We krijgen dus in feite te maken met een kostencurve die pas bij een latere verhogingsstap begint. De kostencurve krijgt als het ware een verschuiving langs de x-as, waarbij de kosten pas beginnen te lopen wanneer de aanwezige overhoogte opgesoupeerd is. Dit is een situatie die om twee redenen onwenselijk is. Ten eerste dient de kostencurve ten behoeve van OptimaliseRing te voldoen aan een continue analytische

functie, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Deze functie voorziet niet in discrete sprongen in de curve. Daarnaast wordt de curve in OptimaliseRing herhaaldelijk toegepast in opeenvolgende versterkingsronden, en in de tweede versterkingsronde is de overhoogte per definitie al verdwenen, en is de curve dus feitelijk niet meer bruikbaar. OptimaliseRing voorziet niet in het gebruik van meerdere kostenfuncties voor opeenvolgende versterkingsronden. Het is dus wenselijk om in het kostenspoor een curve te bepalen, waarbij geen horizontale verschuiving langs de x-as aanwezig is.

Wanneer op een bepaalde plek overhoogte aanwezig is, en er in de uitgangssituatie dus een dijkprofiel ligt dat meer dan 'op orde' is, betekent dit feitelijk dat de overstromingskans in de uitgangssituatie, de zogenaamde $P(0)$, lager is dan in het geval van de referentiesituatie. De $P(0)$ wordt vanuit het kansenspoor aangeleverd, en wordt eveneens gebruikt in het model OptimaliseRing. In het kansenspoor is deze $P(0)$ voor de basisvariant altijd vastgesteld op de normfrequentie gedeeld door de dijkringfactor (Kuijper, 2011), in het kader van de analyse met overhoogte wordt deze $P(0)$ verlaagd, zodat deze aansluit bij het hier beschouwde 'overhoogte profiel'. De aanwezige overhoogte wordt dus voornamelijk in rekening gebracht binnen het kansenspoor. Binnen het kostenspoor kunnen nu de kostencurves op de reguliere wijze bepaald worden, met het zwaardere profiel met overhoogte als uitgangssituatie.

In voorgaande beschouwing is uitgegaan van één vaste mate van overhoogte op een geheel dijkringtraject (het niveau waarop de gegevens vanuit het kansenspoor worden aangeleverd aan OptimaliseRing). In praktijk zijn echter door de beheerders profielgegevens op dijkvak niveau aangeleverd, waardoor de mate van overhoogte binnen een traject kan variëren (per dijkvak). Wanneer op het traject met één enkele $P(0)$ gerekend zou worden, zouden alsnog kostencurves ontstaan met sprongen daarin, omdat het ene vak op een traject bij een kleinere verhoging van het HBN versterkt zou moeten worden dan een ander vak. Om eerder genoemde redenen is dit een onwenselijke situatie. Om deze reden is besloten de trajecten waar dit aan de orde is op te splitsen in meerdere subtrajecten, waaraan verschillende waarden van $P(0)$ worden meegegeven vanuit het kansenspoor. Dijkvakken met eenzelfde mate van overhoogte binnen een traject kunnen daarbij geclusterd worden binnen één subtraject. Doordat OptimaliseRing een optimale overstromingskans berekend per dijkringdeel hoeven deze dijkvakken fysiek niet aan elkaar te grenzen om binnen één subtraject geclusterd te kunnen worden. Een restrictie die Optimalisering stelt is wel dat binnen een dijkringdeel maximaal 10 trajecten kunnen voorkomen.

7.4.3 Profiel in de referentiesituatie en kostenramingen per vak

Analoog aan de aanpak geschetst in de vorige paragraaf zijn allereerst voor de individuele dijkvakken binnen de beschouwde dijkringen discrete kostencurves opgesteld. Hierbij zijn de hydraulische gegevens gebruikt zoals in de basisvariant. In principe is per dijkvak een representatief profiel aangeleverd door de beheerders. Op de door de beheerder aangeleverde kruinhoogte is een kleine correctie gedaan voor mogelijk in de toekomst nog optredende zetting en klink van de dijk. Dit is in feite extra hoogte die na verloop van tijd vanzelf weer verdwijnt. Deze correctie is voor het gehele land uniform aangenomen op 20 cm (achtergrondzetting/maaiveldddaling wordt in het kansenspoor meegenomen in de term voor relatieve zeespiegelrijzing). Waar de aldus berekende dijkhoogte niet voldoet aan het referentieprofiel zoals gehanteerd in de basisvariant (zie paragraaf 7.2.3), wordt de kruinhoogte nog aangepast zodat hier juist wel aan wordt voldaan. Eventuele onderhoogte (achterstallig onderhoud) wordt hiermee buiten beschouwing gelaten.

De rest van de gevolgde aanpak per dijkvak is gelijk aan de gehanteerde aanpak bij de basisvariant.

7.4.4 Geaggregeerde resultaten per subtraject

Voor alle beschouwde dijkvakken in dijkringen 26, 36 en 44 (58 stuks in totaal), is de overhoogte die in de uitgangssituatie aanwezig is nu in principe bekend. Deze is bepaald door het in deze gevoeligheidsanalyse gehanteerde profiel te vergelijken met het dijkprofiel dat is gebruikt in de basisvariant ('referentieprofiel'). Om nu geaggregeerde kostenfuncties te kunnen bepalen op subtrajectniveau, zoals beschreven in paragraaf 7.4.2, worden de dijkvakken per dijkringtraject geclusterd op basis van de aanwezige overhoogte. Ieder cluster vormt hiermee een apart dijkringtraject ten behoeve van OptimaliseRing. Binnen het kostenspoor worden voor ieder subtraject afzonderlijke kansfuncties opgesteld met een eigen waarde voor $P(0)$. De clustering en de resultaten van de kostenramingen is weergegeven in Bijlage K.2. Vergelijking met kostengegevens uit de basisvariant is hier niet zinvol, omdat met het wijzigen van de kostencurves ook de kansfuncties (met name de eerder genoemde $P(0)$) worden aangepast. Effecten van het meenemen van overhoogte kunnen daarom enkel in de MKBA zichtbaar worden gemaakt.

7.5 Piping en vergelijking VNK

7.5.1 Algemeen

In de basisvariant is verondersteld dat met het uitgangspunt 'referentiesituatie' (zoals beschreven in paragraaf 7.2.3) de bijdrage van het faalmechanisme piping aan de overstromingskans op het niveau van een dijkring(deel) in de uitgangssituatie voldoende is beperkt. In het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) is echter het vermoeden gerezen dat de huidige rekenregels de bijdrage van piping aan de totale overstromingskans onderschatten, en dat versterkingsmaatregelen mogelijk zwaarder zouden moeten zijn dan tot dusver gedacht. Dit heeft later geleid tot de definitie van de tweede referentiesituatie. Daarom zijn er binnen WV21 een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om te kunnen inschatten wat alternatieve rekenregels voor piping voor effect zouden kunnen hebben op de berekende economisch optimale overstromingskans. Deze analyse is uitgevoerd voordat er sprake was van de tweede referentiesituatie. Vergelijking van deze resultaten met de resultaten van de tweede referentiesituatie behoorde niet tot de scope van het onderzoek.

7.5.2 Opzet gevoeligheidsanalyse

In deze gevoeligheidsanalyse is beschouwd wat de invloed van nieuwe inzichten voor piping kan zijn op de kostencurves die voor de basisvariant van de MKBA zijn opgeleverd. Deze inzichten komen op twee verschillende manieren in de kostenramingen tot uitdrukking, te weten in de gehanteerde referentiesituatie, en in de dimensies van de uitgevoerde versterkingsmaatregel.

Allereerst wordt verondersteld dat het referentieprofiel zoals gehanteerd in de basisvariant feitelijk voor piping nog niet 'op orde' is. Aangenomen wordt dat om vanuit het profiel gehanteerd in de basisvariant echt 'op orde' te komen voor piping een 10 keer kleinere faalkans dient te worden behaald. Dit komt overeen met het toevoegen van extra kwelweglengte aan het profiel behorende bij een waterstandsstijging van één maal de decimeringshoogte. Er wordt hier gekozen om de decimeringshoogte zonder aftoppen te gebruiken, omdat we hier kijken naar uitgangssituatie bij de huidige beschermingsniveau's,

waarbij het fysisch maximum van de afvoer zoals aangenomen in de basisvariant nog niet bereikt is. De decimeringshoogte zonder aftoppen geeft daarmee een betere benadering van de werkelijkheid.

Daarnaast kunnen andere pipinginzichten leiden tot andere dimensies van de versterkingsmaatregelen. Dit komt tot uitdrukking in de extra kwelweglengte die nodig is bij een bepaalde waterstandsstijging. In de basisvariant is de versterkingsmaatregel bepaald in de RRD analyse, zoals beschreven in paragraaf 4.1.2. Hierbij is het state-of-the-art twee lagen model van Sellmeijer gebruikt, dat ontwikkeld is naar aanleiding van de eerste uitkomsten van VNK. Ook zijn voor zover beschikbaar de bodemopbouwen geschematiseerd door VNK gebruikt, echter de berekeningen voor WV21 zijn deterministisch uitgevoerd in tegenstelling tot de probabilistische benadering binnen VNK, en de pipingmaatregelen zijn per dijkvak gemiddeld over alle bodemscenario's genomen (zie par. 4.5.2). Hierdoor kan de benodigde pipingmaatregel mogelijk onderschat worden. Voor deze gevoeligheidsanalyse is ervan uitgegaan dat de kwelwegverlenging, behorende bij een waterstandsstijging H altijd minimaal $18 \times H$ bedraagt. Waar de uitkomsten vanuit de RRD boven de 18 liggen is dit getal uit de RRD analyse gehandhaafd, en zijn verschillen in kosten dus enkel te verklaren vanuit een veranderende uitgangssituatie.

7.5.3 Uitwerking en resultaat gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor een aantal willekeurig maar verspreid over het land gekozen dijkringen, te weten dijkring 6, 10, 13, 14, 15, 16, 25, 41, 43, 48 en 52. De ramingen zijn uitgevoerd op het niveau van dijkvakken, de resultaten worden in deze rapportage gepresenteerd op het niveau van een dijkringdeel.

Bij het aanpassen van het dijkprofiel in de uitgangssituatie zijn er gevallen denkbaar waar het toevoegen van extra kwelweglengte middels een berm aan de binnenzijde van het talud ruimtelijk niet mogelijk is door aanwezige bebouwing. Feitelijk krijgen we voor de nieuwe referentiesituatie binnen ieder dijkvak te maken met twee verschillende mogelijkheden, een reguliere gronddijk zoals in de basisvariant, met extra berm(lengte) aan het binnentalud, en een dijk die er feitelijk van buiten uit ziet zoals in de basisvariant, maar waar reeds een scherm (cement bentoniet- of damwand) ingebracht is in de teen.

Ieder beschouwd dijkvak wordt voor de raming fictief opgesplitst in twee delen waar de verschillende uitgangssituaties ('grond' en '(semi-)constructief') aan de orde zijn. Voor het constructieve deel geldt dat bij een verdere versterking een geheel nieuwe constructie wordt aangebracht, met een kwelweglengte die voldoet aan de nieuwe hydraulische belasting, voor het grondgedeelte wordt de reguliere versterkingsprocedure doorlopen zoals beschreven in hoofdstuk 3. De kosten om volgens de nieuwe uitgangspunten de referentiesituatie te bereiken, worden in deze studie nadrukkelijk niet beschouwd!

In de vergelijking is gekeken wat het voor de kosten zou betekenen om vanuit de verschillende gedefinieerde referentiesituaties (voor de basisvariant en degene met de nieuwe pipingaannames) de waterstand (en daarmee het HBN) een decimeringshoogte te vergroten. De resultaten van de ramingen zijn gepresenteerd in Bijlage K.3. Gemiddeld over de beschouwde dijkringdelen is te zien dat er een toename in kosten te verwachten is van ca. 20%. Dit kan echter ruimtelijk variëren, en hangt sterk af van de mate van bebouwing, op welk moment deze bebouwing een belemmering gaat vormen voor uitbreiding van het dijkprofiel en de verhogingsstap die vergeleken wordt.

7.5.4 Vergelijking methode VNK

Binnen het kansenspoor van WV21 is een separate studie door HKV uitgevoerd om op basis van de WV21 uitgangspunten en basisgegevens, met behulp van het VNK-instrumentarium PC-Ring inzicht te krijgen in de profielaanpassingen die nodig zijn voor een decimering van de overstromingskans. Binnen deze studie is alleen gerekend voor de faalmechanismen overloop/overslag en opbarsten en piping. De gemaakte berekeningen hebben als doel om kruinhoogtes en kwelweglengtes te bepalen die resulteren in een dijkringkans gelijk aan de norm of een tien maal kleinere kans. Op basis hiervan zijn decimeringswaarden van de kruinhoogte en op de kwelweglengte bepaald. Bij het bepalen van die profielaanpassingen speelt ook de verdeling van de dijkringkans over de dijkvakken en de faalmechanismen een rol. Dit wordt aangeduid als de faalkansbegroting of de faalkansboekhouding. Binnen het project wordt uitgegaan van twee opties, namelijk 90% golfoverslag en 10% piping, of 50% golfoverslag en 50% piping. Voor meer achtergronden van deze studie zie Kuijper (2011), en Kuijper (2010).

Binnen het kostenspoor worden voor de beschouwde gevallen (met faalkansverdelingen 50/50 en 90/10) per dijkvak de kosten berekend die gemaakt dienen te worden om vanuit een referentieprofiel een factor 10 veiliger te worden. Vervolgens worden de kosten volgens de WV21 systematiek en de kosten van de beide beschouwde VNK gevallen met elkaar vergeleken. Voor de WV21 raming en het referentieprofiel wordt uitgegaan van de situatie zonder aftoppen zoals beschreven in paragraaf 7.3, om een juiste aansluiting te vinden bij de berekeningen die in PC-Ring gemaakt zijn.

Genoemde studie van HKV is uitgevoerd voor twee VNK dijkringen, te weten dijkkring 10 en 48. Resultaat van de HKV studie zijn tabellen die voor ieder beschouwd VNK dijkvak de decimeringswaarden op de kruin en op de kwelweglengte geven, voor beide beschouwde faalkansbegrotingen. De VNK dijkvakken zijn over het algemeen kleiner dan de gehanteerde WV21 dijkvakken. De VNK resultaten zijn vertaald naar WV21 dijkvakken door, van de decimeringshoogte op de kruin en de decimeringslengte op de kwelweg, een gewogen gemiddelde te bepalen per WV21 dijkvak over alle VNK vakken of delen daarvan die daarbinnen vallen.

| Dijkvak | Lengte (km) | Decimeringshoogte op de kruin (m) | | | Decimeringslengte op de kwelweg (m) | | |
|--------------|-------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| | | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 |
| 10-1-1-A-1-A | 3,73 | 0,61 | 0,61 | 0,75 | 10,64 | 44,09 | 50,31 |
| 10-1-2-A-1-A | 11,16 | 0,79 | 0,63 | 0,69 | 15,08 | 38,96 | 43,27 |
| 10-1-3-A-1-B | 1,21 | 0,34 | 0,47 | 0,28 | 1,43 | 3,71 | 5,38 |
| 10-1-3-A-1-C | 3,89 | 0,34 | 0,34 | 0,29 | 1,43 | 15,42 | 18,64 |
| 10-1-3-B-1-C | 2,95 | 0,34 | 0,27 | 0,30 | 1,43 | 18,33 | 20,62 |
| 10-1-3-B-1-D | 0,76 | 0,34 | 0,81 | 0,17 | 3,48 | 38,10 | 42,40 |
| 10-1-3-C-1-A | 3,26 | 0,34 | 0,29 | 0,32 | 1,43 | 14,00 | 15,50 |
| 10-1-3-C-1-D | 7,42 | 0,34 | 0,37 | 0,28 | 3,97 | 37,35 | 41,73 |
| 10-1-4-A-1-A | 7,38 | 0,41 | 0,46 | 0,30 | 3,68 | 14,12 | 16,91 |
| 10-1-4-B-1-A | 0,94 | 0,41 | 0,94 | 0,45 | 3,68 | 16,30 | 19,20 |
| 10-1-4-B-1-B | 3,25 | 0,41 | 1,02 | 0,64 | 3,68 | 15,89 | 18,79 |
| 10-1-4-C-1-B | 1,77 | 0,41 | 0,54 | 0,49 | 3,68 | 7,25 | 8,95 |

Tabel 7.3 Dijkkring 10 - decimeringswaarden op de kruinhoogte en de kwelweglengte

| Dijkvak | Lengte (km) | Decimeringshoogte op de kruin (m) | | | Decimeringslengte op de kwelweg (m) | | |
|--------------|-------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| | | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 |
| 48-1-1-A-1-F | 3,32 | 0,89 | 0,88 | 0,84 | 8,24 | 21,21 | 19,44 |
| 48-1-1-A-1-G | 2,28 | 0,89 | 0,92 | 0,86 | 8,33 | 22,65 | 20,79 |
| 48-1-2-A-1-F | 6,49 | 0,76 | 0,83 | 0,77 | 13,08 | 41,83 | 38,33 |
| 48-1-3-A-1-E | 3,00 | 0,57 | 0,50 | 0,45 | 6,11 | 39,43 | 35,97 |
| 48-1-3-A-1-F | 2,50 | 0,57 | 0,54 | 0,60 | 6,11 | 30,36 | 27,78 |
| 48-2-1-A-1-E | 5,61 | 0,53 | 0,47 | 0,44 | 5,85 | 29,34 | 26,64 |
| 48-2-2-A-1-D | 5,41 | 0,52 | 0,74 | 0,70 | 5,08 | 18,58 | 17,01 |
| 48-2-2-A-1-E | 5,03 | 0,52 | 0,87 | 0,78 | 5,08 | 35,59 | 32,43 |
| 48-2-2-B-1-C | 2,25 | 0,52 | 0,98 | 0,90 | 5,08 | 13,85 | 12,77 |
| 48-2-2-B-1-D | 4,42 | 0,52 | 0,92 | 0,80 | 5,08 | 20,98 | 19,16 |
| 48-2-3-A-1-A | 0,64 | 0,85 | 0,98 | 0,82 | 10,80 | 56,90 | 51,20 |
| 48-2-3-A-1-B | 6,52 | 0,85 | 0,98 | 0,85 | 10,80 | 47,87 | 43,28 |
| 48-2-3-A-1-C | 3,16 | 0,85 | 0,99 | 0,90 | 10,80 | 23,34 | 21,29 |
| 48-2-3-A-2-A | 2,73 | 0,85 | 0,98 | 0,80 | 8,74 | 7,80 | 7,10 |

Tabel 7.4 Dijkkring 48 - decimeringswaarden op de kruinhoogte en de kwelweglengte

In de tabellen hierboven zijn de berekeningsresultaten weergegeven voor ieder WV21 dijkvak. Hierin zijn tevens de binnen WV21 gehanteerde decimeringswaarden voor de kruinhoogte en de kwelweglengte weergegeven voor de situatie zonder aftoppen. Deze worden gebruikt voor de WV21 referentieberekeningen.

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de decimeringshoogtes op de kruin die binnen WV21 en VNK worden gevonden, voor beide faalkansbegrotingen behoorlijk in elkaars verlengde liggen. Voor wat betreft de decimeringslengtes op de kwelweg is dit een ander geval. Hier worden grote verschillen geconstateerd tussen de twee gebruikte methoden WV21 en VNK. Dit verschil moet voornamelijk gezocht worden in de probabilistische rekentechnieken die binnen PC-Ring gebruikt worden, en het zogenaamde lengteeffect, waar binnen WV21 analoog aan de huidige toetsing geen rekening mee is gehouden. Het verschil in decimeringslengte leidt bij een versterking van de dijk met een factor 10 tot aanzienlijke meerkosten bij het hanteren van de methode VNK, gemiddeld zo'n 60-80% afhankelijk van de gekozen dijkkring en faalkansverdeling. De resultaten van de kostenschattingen zijn weergegeven in Bijlage K.4.

Wanneer in de gevoeligheidsanalyses die uitgevoerd worden binnen de MKBA blijkt dat deze kostenramingen op basis van de berekeningsresultaten van PC-Ring van doorslaggevende betekenis zijn, ook in samenhang met de onzekerheden in andere sporen, wordt aanbevolen de verschillen in beide methodes nader te onderzoeken.

7.6 Variant hoogwatergeul Kampen

In de basisvariant is uitgegaan van het in de PKB Ruimte voor de Rivier (2006) vastgelegde basispakket van maatregelen. Voor de IJsseldelta is hierin zomerbedverdieping voorzien. Op dit moment wordt overwogen om in aanvulling op zomerbedverdieping de waterstanden rondom Kampen te verlagen middels een hoogwatergeul (zie Figuur 7.3). Hierdoor wordt dijkkring 11 gesplitst in twee nieuwe dijkkringen, 11a en 11b. In deze variant worden voor de nieuwe situatie de economisch optimale overstromingskansen berekend. Hierbij zijn de dijken langs de hoogwatergeul zelf niet beschouwd, omdat er vanuit gegaan wordt dat deze zeer robuust kunnen worden aangelegd (tegen zeer geringe meerkosten) en omdat bovendien de instroom van de hoogwatergeul kan worden gecontroleerd. Een hoger beschermingsniveau

kan daardoor verkegen worden door de dijken langs de IJssel en het IJsselmeer te verhogen. De inspanningen binnen het kostenspoor ten behoeve van deze variant blijven met deze aanpak beperkt.

Ten behoeve van de MKBA en OptimaliseRing worden in plaats van een enkel traject 11-1-2, twee nieuwe trajecten onderscheiden 11a-1-2 en 11b-1-2. Beide trajecten bestaan uit meerdere dijkvakken. De kosten van het dijkvak 11-1-2-C-1-Z uit de basisvariant, die op de grens ligt van de twee nieuwe onderscheiden dijkkringen, is hierbij naar rato van de lengte aan de twee nieuwe trajecten toebedeeld. De instroomopening van de hoogwatergeul zelf is ongeveer 1000m volgens de gehanteerde shapefile, dit deel van het dijkvak komt te vervallen. De kunstwerken die voorkomen in vak 11-1-2-C-1-Z liggen allen in de nieuwe dijkkring 11b.



Figuur 7.3 By-pass Kampen

Tenslotte zijn voor het gesplitste traject nieuwe geaggregeerde kostencurves bepaald op basis van de ramingen van de onderliggende dijkvakken. Het resultaat van de ramingen is gegeven in Bijlage K.5.

7.7 B-keringen

B-keringen zijn primaire waterkeringen die voor de dijkringgebieden gelegen zijn en buitenwater keren. In Nederland zijn er 27 van dergelijke keringen met een totale lengte van 155 kilometer. In de MKBA zijn B-keringen in de basisvariant niet meegenomen in de berekening van de economische optimale overstromingskansen. Argumenten daarvoor zijn genoemd in Kind, 2011. Door middel van deze aanvullende analyse wordt een schatting gegeven van het effect op de economisch optimale overstromingskansen als de B-keringen wel zouden zijn meegenomen.

Binnen WV21 worden B-kering opgedeeld in een drietal typen (zie Kind, 2011). Binnen het kostenspoor worden enkel de B-keringen van het type 2 beschouwd, zijnde gesloten B-

keringen met daarachter C-keringen. De B-keringen die beschouwd worden zijn weergegeven in Tabel 7.5.

B-keringen bestaan over het algemeen uit een dijk of dam, met daarin vaak ook één of meerdere kunstwerken. Omdat voor B-keringen aan de beheerder geen maatgevende profielen zijn gevraagd, zijn de dimensies van de dijken voor het maken van de kostenramingen op een grovere manier afgeschat. Voor B-keringen aansluitend op een uniform dijkkringtraject is daarbij vooral gekeken naar de omliggende dijkvakken. Voor de dammen in Zeeland zijn de dimensies afgeschat op basis van visuele beschouwingen in Google Earth.

| Codering | Naam |
|----------|--------------------------------------|
| VWK-2 | Kadoelersluis |
| VWK-3 | Roggebotsluis |
| VWK-5 | Nijkerkersluis |
| VWK-7 | Sluizen IJmuiden |
| VWK-13 | Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis |
| VWK-14 | Brouwersdam |
| VWK-15 | Hellegatsdam en Volkeraksluizen |
| VWK-16 | Grevelingendam |
| VWK-17 | Philipsdam |
| VWK-19 | Oesterdam |
| VWK-20 | Veersedam |
| VWK-21 | Zandkreekdam |
| VWK-23 | Zeedijk Paviljoenpolder |
| VWK-26 | Keersluis Heusdensch Kanaal |
| VWK-27 | Bergse Maasdijk |

Tabel 7.5 B-keringen type 2, beschouwd in MKBA

Kunstwerken zijn op een zelfde manier behandeld als zouden ze in de A-keringen liggen, en zijn aldus per stuk, type en grootteklasse toegewezen aan de B-kering waarin ze liggen. Enige verschil is dat de kunstwerken hier vaker een dimensie groter zijn (denk bijvoorbeeld aan de zeesluizen bij IJmuiden), en dus eerder in de categorie 'Special' vallen. Zie Hoofdstuk 6 voor een beschrijving van de gevolgde aanpak voor de kostenramingen van kunstwerken.

Kosten voor eventuele bekleding op het buitentalud van een B-kering zijn geschat op basis van kosten daarvoor op omliggende vakken met een vergelijkbaar hydraulisch regime.

De resultaten van de grove ramingen voor de B-keringen zijn weergegeven in Bijlage K.8.

8 Gevoeligheidsonderzoek

8.1 Inleiding en overzicht

Zoals in het voorgaande beschreven ligt aan de opzet en uitvoering van de kostenberekeningen voor de verschillende typen waterkeringen een vrij gedetailleerde aanpak ten grondslag. Bij de uitwerking van deze aanpak, de specificatie van systeem- en ontwerpaannamen en de verzameling en verwerking van basisgegevens is sprake van een groot aantal onzekerheden. In dit hoofdstuk wordt getracht om door middel van de uitvoering van een gevoeligheidsonderzoek een overzicht te geven van de belangrijkste onzekerheden en de effecten van deze onzekerheden op de uitkomsten van de kostenberekeningen.

In eerste instantie wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste onzekerheden die van toepassing zijn voor de verschillende kostenfunctie generatoren, voor zover deze op zinvolle wijze binnen het gevoeligheidsonderzoek konden worden beschouwd. Het gaat hier om de kostenfunctie generatoren voor dijkversterking, versterking dijkbekleding en kunstwerken. Op grond van deze onzekerheden wordt voor elk van de kostenfunctie generatoren een aantal variaties in de invoerparameters gedefinieerd.

Vervolgens wordt voor de kostenfunctie generatoren een overzicht gegeven van de resultaten en bevindingen van de beschouwde variaties. Dit leidt tot een aantal conclusies betreffende de onzekerheden die per kostenfunctie generator als de belangrijkste moeten worden beschouwd. Op grond van de identificatie van de meest dominante onzekerheden wordt vervolgens een hoge en een lage variant voor de berekening van de kostenfuncties gespecificeerd, tegen de achtergrond van de Basisvariant van de kostenfuncties. De hoge en lage variant kunnen daarbij worden gezien als een realistische boven- en ondergrens van de functiewaarden van de Basisvariant.

De gehanteerde uitgangspunten die bepalend zijn voor het vaststellen van de hoge en lage variant kunnen voor de verschillende kostenfuncties per dijkvak en dijkringtraject zeer verschillend uitwerken. Het is daarom niet mogelijk om algemene uitspraken te doen over de bandbreedten die zich op het niveau van de individuele kostenfuncties kunnen voordoen. Het definiëren van een hoge en lage variant leidt dan ook tot het ontstaan van twee alternatieve sets van kostenfuncties rond de Basisvariant. Om inzicht te krijgen in het uiteindelijke effect van deze varianten op de vaststelling van de optimale veiligheidsnormen moeten in principe de analyses op grond van het model *OptimaliseRing* worden herhaald. Dit wordt globaal uitgevoerd door middel van een Monte Carlo Analyse, zoals beschreven in Kind, 2011.

In dit hoofdstuk wordt tevens een aantal algemene kenmerken gegeven van de hoge en lage variant op grond van de gemiddelde bandbreedte die voor bepaalde clusters van dijkvakken aan de orde is. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar de effecten van de hoge en de lage variant op de kosten voor dijkversterking, dijkbekleding en kunstwerken afzonderlijk en voor het totaal. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt naar de verschillende hoofdsystemen die ten aanzien van de kenmerken van de hydraulische belasting zijn onderscheiden, te weten *Kust&Estuaria*, *Meer en Rivier*.

8.2 Afbakening inhoud gevoeligheidsonderzoek

Het is niet mogelijk om alle onzekerheden die samenhangen met de opzet en uitwerking van de uitgevoerde kostenberekeningen op zinvolle wijze in het gevoeligheidsonderzoek te beschouwen. Dit geldt met name voor de onzekerheden die samenhangen met de meer algemeen gehanteerde ontwerpaannamen en uitgangspunten. Voorbeelden hiervan zijn:

- De uitgangspunten betreffende de schematisering van de kostenfuncties.
- Het hanteren van de referentiesituatie
- De te beschouwen faalmechanismen.
- Het uitgangspunt dat uitbreiding van de keringen in principe altijd plaatsvindt aan de landzijde van de kering.
- De binnen het onderdeel Dijkversterking gehanteerde typen maatregelen en de volgorde van toepassing in het kader van de 'verdringingsreeks'.
- Het omgaan met bebouwingssituaties (uitgangspunt niet slopen).
- Het gebruik van de beschikbare basiskostenfuncties voor een aantal hoofdtypen kunstwerken die in het kader van eerdere studies zijn afgeleid.

Voor bepaalde uitgangspunten geldt dat deze op het niveau van de studie als geheel zijn vastgesteld en daardoor niet kunnen worden veranderd. Van andere aannamen en uitgangspunten kunnen de effecten niet worden onderzocht omdat dit tot een geheel andere uitwerking zou leiden die met de thans beschikbare hulpmiddelen niet kan worden gefaciliteerd. Dit leidt ertoe dat het gevoeligheidsonderzoek zich met name toespitst op het niveau van de systeemaannamen en basisgegevens die binnen het thans beschikbare instrumentarium op relatief eenvoudige wijze kunnen worden aangepast. Bij de ontwikkeling van dit instrumentarium is hiermee ook rekening gehouden door het expliciet onderscheiden van een relatief groot aantal systeemaannamen die nader kunnen worden gespecificeerd. Voor de basisgegevens geldt dat deze per definitie kunnen worden veranderd. Hierbij moet echter worden bedacht dat het niet voor alle gegevens even zinvol is om deze in het gevoeligheidsonderzoek te beschouwen. Dit geldt met name voor de gegevens die het resultaat vormen van een gerichte inventarisatie met een beperkte onzekerheid, waarbij er geen specifieke redenen zijn om een systematische afwijkingen te veronderstellen die tot een structurele onder- of overschatting van de kosten zouden leiden.

Op grond van de bovenstaande overwegingen is per kostenfunctie generator een nadere selectie gemaakt van de daadwerkelijk in het gevoeligheidsonderzoek te beschouwen parameters en onzekerheden. In veel gevallen gaat het daarbij om systeemaannamen waarbij sprake is van aannemelijke keuzen waarbij desondanks een bandbreedte denkbaar is. Daarnaast gaat het om een aantal basisgegevens waarvoor gedetailleerde of betrouwbare informatie niet direct voor handen was (zoals grondprijzen) of die per definitie door een vrij grote onzekerheid worden gekenmerkt (zoals de in de kostenberekeningen te hanteren opslagfactoren). Het volgende geeft een overzicht per kostenfunctie generator.

8.2.1 Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator dijkversterking

Een overzicht van de te beschouwen variaties in de invoer van de kostenfunctie generator dijkversterking is gegeven in Tabel 8.1. Behoudens een enkele uitzondering is voor alle gevallen een hoge (a) en een lage (b) variant gedefinieerd waarbij de gehanteerde waarden voor de berekening van de kostenfuncties in de Basisvariant met een bepaalde marge worden aangepast zodat hogere, resp. lagere kosten ontstaan. Met de gehanteerde marges is daarbij getracht om een realistische bandbreedte van 'waarschijnlijke' waarden aan te geven op basis van expert judgement. Het volgende geeft een korte toelichting op de beschouwde variaties in de invoerparameters.

| Systeemaannamen en basisgegevens dijkversterking | | | Te beschouwen varianten | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-------------------------|--------|------|--------|
| Afmetingen en opbouw dijkprofiel | Eenheid | Waarde | Code | Waarde | Code | Waarde |
| Factor verhoging keringen door grondmaatregelen (zetting en klink) | - | 1.20 | 1a | 1.30 | 1b | 1.10 |
| Cotangens maximale versteiling (minimale cotangens) | - | 2.00 | 2a | 2.50 | 2b | 1.50 |
| Afmetingen constructieve oplossingen | | | | | | |
| Maximale (verticale) lengte voor toepassing damwand ipv diepwand in dijklichaam | m | 15 | 3a | 12 | 3b | 18 |
| Maximale (verticale) lengte constructie | m | 25 | 4a | 30 | 4b | 20 |
| Systeemaannamen voor dijkopleiding en -aansluiting bij kruisingen | | | | | | |
| Standaard lengte extra dijkracé per kruising | m | 100 | 5a | 150 | | 50 |
| Afmetingen infrastructuur (wegen en opritten) | | | | | | |
| Factor meetellen verschil max en min benadering te verplaatsen infrastructuur type 1 | - | 0.50 | 6a | 0.70 | 6b | 0.30 |
| Factor meetellen verschil max en min benadering te verplaatsen infrastructuur type 2 | - | 0.50 | | 0.70 | | 0.30 |
| Factor meetellen verschil max en min benadering te verplaatsen infrastructuur type 3 | - | 0.80 | | 1.00 | | 0.60 |
| Factor meetellen verschil max en min benadering te verplaatsen infrastructuur type 4 | - | 0.30 | | 0.50 | | 0.10 |
| Factor meetellen verschil max en min benadering te verplaatsen infrastructuur type 5 | - | 0.20 | | 0.40 | | 0.00 |
| Moeilijkheidsgraad per maatregel tbv opslagfactoren | | | | | | |
| Constructieve maatregelen | | | | | | |
| CC1 | Normaal | 2.28 | 7a | 2.59 | 7b | 1.99 |
| CC2 | Normaal | 2.28 | | 2.59 | | 1.99 |
| CC3 | Moeilijk | 2.60 | | 2.90 | | 2.28 |
| GC Special 1 | Moeilijk | 2.23 | | 2.46 | | 2.00 |
| GC Special 2 | Moeilijk | 2.23 | | 2.46 | | 2.00 |
| Grondmaatregel 1 | | | | | | |
| Grondwerk | Normaal | 1.62 | | 1.81 | | 1.42 |
| Grondaankoop | Normaal | 1.41 | | 1.65 | | 1.29 |
| Grondmaatregel 2 | | | | | | |
| Grondwerk | Normaal | 1.62 | | 1.81 | | 1.42 |
| Constructies | Normaal | 2.00 | | 2.23 | | 1.74 |
| Grondaankoop | Normaal | 1.41 | | 1.65 | | 1.29 |
| Grondmaatregel 3 | | | | | | |
| Grondwerk | Moeilijk | 1.81 | | 2.00 | | 1.62 |
| Constructies | Normaal | 2.00 | | 2.23 | | 1.74 |
| Grondaankoop | Moeilijk | 1.65 | | 1.88 | | 1.41 |
| Grondmaatregel 4 | | | | | | |
| Grondwerk | Moeilijk | 1.81 | | 2.00 | | 1.62 |
| Constructies | Moeilijk | 2.23 | | 2.46 | | 2.00 |
| Overig | | | | | | |
| Aanpassing kruisingen grond | Normaal | 1.62 | | 1.81 | | 1.42 |
| Aanpassing kruisingen constructief | Moeilijk | 2.60 | | 2.90 | | 2.28 |
| Aanleg weginfrastructuur | Normaal | 2.00 | | 2.23 | | 1.74 |
| Grondaankoop natuurcompensatie | Normaal | 1.41 | | 1.65 | | 1.29 |
| Kostenfactor ter bepaling kosten CC en Special in relatie tot kosten kistdam | | | | | | |
| Factor kosten CC1 tov kistdam | - | 0.75 | 8a | 1.00 | 8b | 0.56 |
| Factor kosten CC2 tov kistdam | - | 1.00 | | 1.33 | | 0.75 |
| Factor kosten CC3 tov kistdam | - | 1.50 | | 2.00 | | 1.13 |
| Factor kosten SP1 tov kistdam | - | 1.00 | | 1.33 | | 0.75 |
| Grondprijzen | | | | | | |
| Bebouwd | | | | | | |
| Landelijk gebied | €/m2 | 100 | 9a | 150 | 9b | 67 |
| Overgangsgebied | €/m2 | 200 | | 300 | | 133 |
| West/stedelijk | €/m2 | 300 | | 450 | | 200 |
| Onbebouwd | | | | | | |
| Landelijk gebied | €/m2 | 25 | | 38 | | 17 |
| Overgangsgebied | €/m2 | 50 | | 75 | | 33 |
| West/stedelijk | €/m2 | 100 | | 150 | | 67 |
| Omgaan met ongunstige bodemscenario's RRD dijkvakken | | | | | | |
| Factor benodigde verbreding dijkbasis voor macrostabiliteit | - | 1.00 | 10 | 1.50 | | - |
| Factor benodigde verbreding dijkbasis voor opbarsten/piping | - | 1.00 | 11 | 1.50 | | - |

Tabel 8.1 Overzicht beschouwde variaties in invoer Dijkversterking

Toelichting beschouwde invoervariaties:

- Variatie 1a/b. Te hanteren factor voor zetting/klink bij het vaststellen van de daadwerkelijk aan te brengen dijkverhoging in het geval van een grondophoging. Verhoging, resp. verlaging van de basiswaarde 1,2 met 0,1.
- Variatie 2a/b. Aanpassing van de waarde van de minimaal toelaatbare cotangens (maximale versteiling) in het geval van eenzijdige versteiling van een te verhogen dijklichaam in combinatie met het aanbrengen van een enkelvoudig constructief element (damwand) in het dijklichaam. Een variatie van +/- 0,5 rond de basiswaarde van 2. Een hogere waarde voor de minimaal te hanteren cotangens leidt in dit geval tot kostenverhoging.
- Variatie 3a/b. Aanpassing van de maximaal gehanteerde verticale lengte van een damwand in een dijklichaam; bij het overschrijden van deze maximale lengte wordt

overgegaan op een (duurdere) diepwand. Beschouwing van een kleinere maximale waarde leidt tot kostenverhoging. Rond de basiswaarde van 15 m worden waarden van 12 m (3a) en 18 m (3b) beschouwd.

- Variatie 4a/b. Aanpassing van de maximaal gehanteerde lengte van een verticale constructie. De verticale lengte is begrensd om te voorkomen dat te grote constructies zouden kunnen ontstaan. Beschouwing van een grotere maximale waarde leidt tot kostenverhoging. Rond de basiswaarde van 25 m worden waarden van 30 m (4a) en 20 m (4b) beschouwd.
- Variatie 5a/b. Standaard lengte van extra dijktracé bij kruisingen. Bij kruisingen van dijklichamen met daarop een weg met bovenliggende infrastructuur wordt uitgegaan van een oplossing waarbij extra stuk verhoogd dijklichaam (zonder weg) wordt aangelegd dat aansluit op het talud van de bovenliggende infrastructuur. Voor dit extra stuk wordt een standaard lengte van 100 m aangehouden. In de gevallen 5a en 5b wordt uitgegaan van resp. 150 en 50 m.
- Variatie 6a/b. Wegingsfactoren voor berekening te verplaatsen infrastructuur. Bij dijk aanpassing wordt de weginfrastructuur die zich bevindt binnen het dijkprofiel standaard verwijderd en opnieuw aangelegd. Voor de vaststelling van de hoeveelheid te verwijderen en opnieuw aan te leggen weginfrastructuur in de uitbreidingszone van het bestaande dijkprofiel wordt een gewogen gemiddelde genomen van een onder- en bovengrensbepaling. De initieel geraamde wegingsfactoren per wegtype worden in de gevallen 6a en 6b met 0,2 verhoogd en verlaagd, leidend tot resp. meer/minder aan te passen hoeveelheden infrastructuur.
- Variatie 7a/b. Keuze opslagfactoren i.v.m. moeilijkheidsgraad maatregelen. Voor de omzetting van directe kosten naar totale kosten wordt in de kostenberekeningen gebruik gemaakt van opslagfactoren die op grond van verschillende achterliggende aannamen zijn berekend. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar drie situaties die zijn aangeduid als 'makkelijk', 'normaal' en 'moeilijk'. Gaande van makkelijk naar moeilijk loopt de hoogte van de opslagfactor op. Voor de varianten 7a en 7b zijn de verschillende in de berekeningen gehanteerde opslagfactoren steeds met 1 klasse verhoogd, resp. verlaagd. Verhoging van de klasse moeilijk en verlaging van de klasse makkelijk heeft daarbij plaatsgevonden door de verschillen tussen 'normaal' en 'moeilijk', resp. tussen 'normaal' en 'makkelijk' te extrapoleren.
- Variatie 8a/b. Kostenfactoren voor berekening bijzondere constructies. De kostenberekeningen voor een aantal bijzondere constructies ('special' en varianten van constructief-constructief) zijn gebaseerd op de kosten voor een kistdam en het gebruik van een schalingsfactor. In variant 8a zijn deze factoren vermenigvuldigd met een factor 4/3; in variant 8b is een factor van 3/4 gehanteerd.
- Variatie 9a/b. Gehanteerde grondprijzen. Voor de te hanteren grondprijzen is een onderscheid gemaakt naar prijzen voor bebouwd en onbebouwd, waarbij binnen Nederland drie typen regio's zijn onderscheiden (landelijk gebied, overgangsgebied en west/stedelijk). In variant 9a zijn alle grondprijzen vermenigvuldigd met een factor 3/2; in variant 9b is een vermenigvuldigingsfactor van 2/3 gehanteerd.
- Variatie 10/11. Factoren benodigde verbreding dijkbasis. Voor de gebieden waar een RRD-analyse heeft plaatsgevonden worden de afmetingen van maatregelen voor macrostabiliteit en opbarsten/piping beide bepaald in termen van een verbreding van de dijkbasis. In de basisvariant is die als gewogen gemiddelde van een aantal verschillende bodemscenario's per dijkvak bepaald. In de gevoeligheidsanalyse is rekening gehouden met een meer conservatieve aanname (afgestemd op de ongunstiger bodemscenario's). Daartoe zijn de oorspronkelijk bepaalde verbredingen van de dijkbasis voor macrostabiliteit (variatie 10) en voor opbarsten/piping (variatie 11) vermenigvuldigd met

een factor 1,5. Er is in dit geval geen rekening gehouden met een beperking van de verbreding van de dijkbasis omdat dit niet realistisch wordt geacht.

8.2.2 Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator dijkbekleding

Een overzicht van de te beschouwen variaties in de invoerparameters voor dijkbekleding is gegeven in Tabel 8.2. Ook hier is in principe voor alle variaties een hoge (a) en een lage (b) variant gedefinieerd. De meeste variaties zijn van toepassing op zowel de hoofdsystemen Kust&Estuaria en Meer. Voor een klein aantal gevallen geldt dat ze alleen voor Kust&Estuaria of Meer van toepassing zijn (zoals aangegeven in de legenda onder de tabel). Voor het systeem Rivier is een aanpassing van de harde bekleding maar zeer beperkt van toepassing en is een zeer eenvoudige methode voor de kostenbepaling gevolgd. Dat leidt ertoe dat voor het systeem Rivier slechts een enkele variatie (26a/b) wordt beschouwd. Zoals ook in Tabel 8.2 aangegeven is dit de enige variatie die voor alle drie hoofdsystemen van toepassing is.

| Systeemaannamen en basisgegevens dijkbekleding | Te beschouwen varianten | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|------|--------|------|--------|
| | Eenheid | Waarde | Code | Waarde | Code | Waarde |
| Algemeen | | | | | | |
| Toename dH waarbij een extra verzwareingsstap van de benodigde steenbekleding wordt toegepast | m | 0.50 | 12a | 0.40 | 12b | 0.60 |
| Toename dH waarbij een extra verzwareingsstap van de benodigde dikte van de asfaltbekleding wordt toegepast | m | 0.70 | | 0.60 | | 0.80 |
| Minimale waarde cotangens buitentalud | - | 2.00 | 13a | 2.50 | 13b | 1.50 |
| Algemeen hoofdsysteem Kust&Estuaria en Meer | | | | | | |
| Maximale lengte buitenberm i.v.m. ophoging (m) | m | 12.00 | 14a | 14.00 | 14b | 10.00 |
| Marge tussen Ontwerppeil en hoogteligging berm waarbinnen bermlegging op OP wordt beschouwd (m) | m | 1.00 | 15a | 1.50 | 15b | 0.50 |
| Waarde cotangens helling buitentalud waarboven toename dH reserve wordt verondersteld (-) | - | 5.00 | 16 | 6.00 | | - |
| Toename dH reserve per eenheid toename cotangens helling buitentalud boven grenswaarde (m) | m | 0.2 | | 0.10 | | - |
| Factor maal Hs als vuistregel voor bepaling lengte buitenberm (- *) | - | 2 | 17a | 2.50 | 17b | 1.50 |
| Verandering Hs als fractie van dH (- *) | - | 0.35 | 18a | 0.50 | 18b | 0.20 |
| Ligging ondergrens ondertalud boven gemiddeld laag water (m) *) | m | 1.00 | 19a | 0.50 | 19b | 1.50 |
| Lengte horizontale beëindiging bekleding ondertalud op berm (m) | m | 1.00 | 20a | 1.50 | 20b | 0.50 |
| Lengte horizontale beëindiging bekleding boventalud op berm (m) | m | 1.00 | | 1.50 | | 0.50 |
| Minimaal te hanteren berm lengte als berm aanwezig (m) | m | 3.00 | 21a | 4.00 | 21b | 2.00 |
| Maximale breedte onderhoudspad (m) | m | 5.00 | 22a | 7.00 | 22b | 3.00 |
| Gemiddelde ligging bovenbegrenzing bekleding boventalud boven OP (m) **) | m | 1.00 | 23 | 1.50 | | - |
| Subsysteem Kust&Estuaria en Meer - subsysteem 1 (Waddenzee, resp. IJsselmeer oude zeedijken) | | | | | | |
| Gemiddelde dH reserve versterking ondertalud (m) | m | 0.00 | 24a | 0.00 | 24b | 0.20 |
| Gemiddelde dH reserve versterking boventalud bij berm op OP (m) | m | 2.00 | | 2.00 | | 2.00 |
| Gemiddelde dH reserve versterking boventalud bij geen berm of berm niet op OP (m) | m | 0.20 | | 0.00 | | 0.40 |
| Fractie toepassing versterking ondertalud bij overschrijden dH reserve (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Fractie toepassing versterking boventalud bij overschrijden dH reserve (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Toename fractie toepassing versterking ondertalud (per 0.1 m dH) (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Toename fractie toepassing versterking ondertalud (per 0.1 m dH) (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Aandeel aanwezige steenbekleding met milieubelasting (koperslablokken) (-) | - | 0.30 | 25a | 0.40 | 25b | 0.20 |
| Aandeel aanwezige teerhoudende asfaltbekleding of -verharding (-) | - | 0.30 | | 0.40 | | 0.20 |
| Subsysteem Kust&Estuaria en Meer - subsysteem 2 (Zeeuwse Delta, resp. IJsselmeer polderdijken) | | | | | | |
| Gemiddelde dH reserve versterking ondertalud (m) | m | 0.00 | 24a | 0.00 | 24b | 0.20 |
| Gemiddelde dH reserve versterking boventalud bij berm op OP (m) | m | 2.00 | | 2.00 | | 2.00 |
| Gemiddelde dH reserve versterking boventalud bij geen berm of berm niet op OP (m) | m | 0.50 | | 0.30 | | 0.70 |
| Fractie toepassing versterking ondertalud bij overschrijden dH reserve (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Fractie toepassing versterking boventalud bij overschrijden dH reserve (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Toename fractie toepassing versterking ondertalud (per 0.1 m dH) (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Toename fractie toepassing versterking ondertalud (per 0.1 m dH) (-) | - | 0.10 | | 0.20 | | 0.10 |
| Aandeel aanwezige steenbekleding met milieubelasting (koperslablokken) (-) | - | 0.00 | 25a | 0.10 | 25b | 0.00 |
| Aandeel aanwezige teerhoudende asfaltbekleding of -verharding (-) | - | 0.00 | | 0.10 | | 0.00 |
| Opslagfactor kostenberekening | | | | | | |
| Opslagfactor ***) | Normaal | 1.579 | 26a | 1.757 | 26b | 1.408 |

*) Geldt alleen voor hoofdsysteem Kust & Estuaria

**) Geldt alleen voor hoofdsysteem Meer

***) Geldt voor alle hoofdsystemen (incl. Rivier)

Tabel 8.2 Overzicht beschouwde variaties in invoer Dijkbekleding

Toelichting beschouwde variaties:

- Variatie 12a/b. Benodigde toename waterstand (dH) voor verzwareingsstap harde bekleding. Met toenemende stijging van de waterstand en de daarmee gepaard gaande hydraulische belasting wordt uitgegaan van een grotere benodigde verzwareing van de harde bekleding. De verzwareing vindt plaats in discrete stappen van 5 cm (voor zowel dikte steenzetting als dikte asfalt) gekoppeld aan een bepaalde toename van de waterstand. In de basisvariant is voor die dH toename voor steenzetting en asfalt resp. een waarde van 0,5 m en 0,7 m aangenomen. In de variaties 12a en 12b worden die waarden met 0,1. m verlaagd (leidend tot hogere kosten), resp. verlaagd.

- Variatie 13a/b. Minimale waarde cotangens buitentalud. De helling van het te bekleden buitentalud is in de inventarisatie van de basisgegevens bepaald. Om fouten te voorkomen is de cotangens van de buitentaludhelling begrensd door een minimumwaarde van 2 in de basisvariant. In de variaties 13a en 13b is die minimumwaarde met 0,5 vergroot (leidend tot hogere kosten), resp. verlaagd.
- Variatie 14a/b. Maximale lengte buitenberm die wordt opgehoogd. Een van de beschouwde maatregelen is dat een ophoging van de buitenberm kan plaatsvinden. De lengte van de (eventueel) aanwezige buitenberm volgt uit de inventarisatie van de basisgegevens. In bepaalde gevallen komen zeer lange buitenbermen voor. De voor ophoging beschouwde lengte van de buitenberm is daarom begrensd (in de Basisvariant tot 12 m). In de variaties 14a en 14b is die maximale berm lengte met 2 m vergroot, resp. verlaagd.
- Variatie 15a/b. Marge tussen hoogteligging buitenberm en Ontwerppeil waarbij bermophoging aan de orde is. De vraag of een bestaande buitenberm moet worden opgehoogd wordt bepaald door de hoogteligging van de berm in de uitgangssituatie. Verhoging vindt plaats als de hoogte van de berm zich binnen een bepaalde marge van de hoogte van het Ontwerppeil bevindt (in de Basisvariant gesteld op 1 m). In de variaties 15a en 15b is die marge met 0,5 m verhoogd (leidend tot meer kosten omdat vaker en meer bermverhoging nodig is), resp. verlaagd.
- Variatie 16. Parameters vergroting dH reserve bij flauwe hellingen buitentalud. Bij de beslissing of bij toenemende waterstand een versterking van de bekleding op het buitentalud nodig is wordt een zekere reserve (de dH reserve) in acht genomen (zie ook variatie 24a/b). Boven een bepaalde waarde van de cotangens van het buitentalud (bij flauwe hellingen) wordt uitgegaan van een grotere dH reserve. In de Basisvariant is aangenomen dat boven een cotangens van 5 de dH reserve toeneemt met 0,2 m voor elke eenheid van de cotangens boven de waarde 5. In variatie 16 wordt uitgegaan van een toename van de dH reserve met slechts 0,1 m voor elke eenheid die de cotangens groter is dan de waarde 6 (leidend tot hogere kosten). Met een gunstiger situatie is in dit geval geen rekening gehouden.
- Variatie 17a/b. Factor voor bepaling lengte buitenberm op basis van significante golfhoogte H_s . Voor het systeem Kust&Estuaria wordt de lengte van de buitenberm (die in veel gevallen niet bekend is) vastgesteld op grond van een factor maal H_s . In de Basisvariant is die factor gesteld op 2. In de variaties 17a en 17b is die factor met 0,5 vergroot, resp. verlaagd.
- Variatie 18a/b. Verandering significante golfhoogte H_s als fractie van de toename van de waterstand dH. Voor het systeem Kust&Estuaria speelt H_s een rol voor het bepalen van de bovengrens van de bekleding op het boventalud. Bij toename van het Ontwerppeil wordt rekening gehouden met een toename van de H_s gelijk aan een factor maal de toename van de waterstand. In de Basisvariant is die factor gesteld op 0,35. In de variaties 18a en 18b is die factor met 0,15 vergroot, resp. verlaagd.
- Variatie 19a/b. Ligging ondergrens ondertalud boven gemiddeld laag water. Voor het systeem Kust&Estuaria wordt de ondergrens van de bekleding op het ondertalud aangenomen op een bepaalde afstand boven gemiddeld laag water. In de Basisvariant is die afstand gesteld op 1 m. In de variaties 19a en 19b is die afstand met 0,5 m verlaagd (leidend tot hogere kosten), resp. verhoogd.
- Variatie 20a/b. Lengte horizontale beëindiging harde bekledingen op berm. Voor de lengte van de horizontale beëindiging van eventuele harde bekledingen van onder- en boventalud op de berm wordt uitgegaan van een standaard waarde. Deze is in de Basisvariant voor zowel onder- als boventalud gesteld op 1 m. In de variaties 20a en 20b is die lengte met 0,5 m verhoogd, resp. verlaagd.

- Variatie 21a/b. Minimaal te hanteren berm lengte. Voor de lengte van de buitenberm (indien aanwezig) wordt in de Basisvariant een minimale lengte van 3 m gehanteerd. In de variaties 21a en 21b is die met 1 m verhoogd, resp. verlaagd.
- Variatie 22a/b. Maximale breedte onderhoudspad. De maximale breedte van het op de berm aanwezig veronderstelde onderhoudspad is in de Basisvariant gesteld op 5 m. In de variaties 22a en 22b is die met 2 m verhoogd, resp. verlaagd.
- Variatie 23. Ligging bovenbegrenzing bekleding boventalud boven Ontwerppeil. Voor het systeem Meer wordt de ligging van de bovenbegrenzing van de (eventuele) bekleding op het boventalud op een bepaalde afstand boven Ontwerppeil aangenomen (in de Basisvariant gesteld op 1 m). In variaties 23 is die afstand met 0,5 m verhoogd. Een gunstiger (lagere) waarde wordt niet realistisch geacht.
- Variatie 24a/b. Parameters voor omgaan met dH reserve bij versterking bekleding. Er is een aantal parameters gedefinieerd die betrekking hebben op de beslissing of, en de mate waarin een versterking van de bekleding nodig is bij toenemende waterstand. De al genoemde dH reserve geeft daarbij aan boven welke stijging van de waterstand een versterking nodig wordt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar de dH reserve voor onder- en boventalud en in het laatste geval ook voor de situaties dat wel en niet een berm aanwezig is die ligt op Ontwerppeil. Vervolgens zijn er voor onder- en boventalud parameters gedefinieerd die aangeven welke fractie van het dijkvak moet worden versterkt bij het juist overschrijden van de dH reserve en parameters die aangeven hoe deze fractie verder toeneemt met elke 0,1 m verdere toename van de waterstand. In de variaties 24a en 24b is resp. een voor de kostenbepaling ongunstiger en gunstiger invulling gegeven aan dit pakket van parameters t.o.v. de Basisvariant, zoals aangegeven in Tabel 8.2. Bij de ongunstiger invulling zijn de dH reserves verkleind en zijn de (toenames van de) te versterken fracties vergroot. Bij de gunstiger invulling zijn alleen de dH reserves enigszins vergroot maar de (toenames van de) te versterken fracties verder ongemoeid gelaten.
- Variatie 25a/b. Aandeel aanwezige harde bekleding met extra milieubelasting. Voor zowel steen- als asfaltbekleding wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat een deel van de al aanwezige bekleding (extra) milieubelastende materialen bevat (koperslakblokken bij steenbekleding of teerhoudend asfalt bij asfaltbekleding). Dit leidt tot hogere kosten voor verwijdering van de oude bekleding. In de Basisvariant zijn hiervoor per subsysteem fracties van resp. 0,3 en 0,0 gehanteerd die in de variaties 25a en 25b met 0,1 zijn verhoogd, resp. verlaagd (voor zover mogelijk).
- Variatie 26a/b. Verhoging en verlaging opslagfactor. Voor de omzetting van directe kosten naar totale kosten wordt in de kostenberekeningen gebruik gemaakt van een enkele opslagfactor (makkelijk, normaal of moeilijk). In de Basisvariant wordt uitgegaan van de waarde 'normaal'. Voor de variaties 26a en 26b worden resp. de waarden voor 'moeilijk' en 'makkelijk' gehanteerd.

8.2.3 Beschouwde variaties in invoer kostenfunctie generator kunstwerken

In het geval van de kostenberekeningen voor de versterking van kunstwerken is slechts een beperkt aantal beschouwde variaties in de invoerparameters van toepassing. Dat vindt zijn oorzaak in het feit dat bij de uitvoering van de berekeningen slechts een klein aantal systeemaannamen en basisgegevens wordt gehanteerd.

De relevant geachte variaties zijn:

- Variatie 27a/b. Beschouwde grootteklassen van de kleinere kunstwerken. Voor de verschillende typen waterkerende kunstwerken wordt onderscheid gemaakt naar een aantal grootteklassen. Voor de kleinere typen kunstwerken die relatief vaak voorkomen

(coupures, gemalen, inlaatsluizen en duikers/hevels) is daarbij geen aparte inventarisatie naar grootteklasse gemaakt, maar is uitgegaan van een aantal eenvoudige vuistregels. In de variaties 27a en 27b is gekeken naar het effect op de kosten als de in de Basisvariant gehanteerde grootteklassen met 1 klasse zouden worden verhoogd, resp. verlaagd.

- Variatie 28a/b. Aanpassing opslagfactoren voor kostenberekeningen. De kostenramingen voor de aanpassing van kunstwerken zijn gebaseerd op het hanteren van relatieve basiskostenfuncties die worden gekoppeld aan een inschatting van de vervangingswaarde van het kunstwerk. De vervangingswaarde is gebaseerd op een inschatting van de directe nieuwbouwkosten en een opslagfactor. Beide inschattingen moeten daarbij als onzeker worden beschouwd. Deze onzekerheid is tot uitdrukking gebracht door in de variaties 28a en 28b uit te gaan van opslagfactoren die t.o.v. de Basisvariant met resp. een factor 1,5 en 2/3 zijn vermenigvuldigd.
- Variatie 29a/b. Aanpassing van toename waterstand (dH) waarbij wordt aangenomen dat het kunstwerk moet worden vervangen. Een zeer bepalende en onzekere aanname in het hanteren van de basiskostenfuncties heeft betrekking op de toename van de waterstand waarbij wordt aangenomen dat het kunstwerk niet meer kan worden aangepast maar moet worden vervangen. In de variaties 29a en 29b is de 'dH vervanging' zoals gehanteerd in de Basisvariant vermenigvuldigd met resp. 0,8 (leidend tot kostenverhoging) en 1,25.

8.3 Resultaten gevoeligheidsonderzoek Dijkversterking

De effecten van de verschillende onderzochte varianten worden mede bepaald door de kenmerken van de te beschouwen dijkvakken. Om te komen tot een min of meer representatief beeld van de mogelijke effecten is uitgegaan van een selectie van dijkvakken op grond van de variatie van een aantal hoofdkenmerken. In eerste instantie is daarbij een onderscheid gemaakt naar de hoofdsystemen: Rivier, Meer en Kust&Estuaria. Binnen het hoofdsysteem Meer is een nader onderscheid gemaakt naar dijkvakken waarvoor wel en niet een RRD-analyse is uitgevoerd. De RRD analyse is van toepassing op de dijkvakken waarbij de faalmechanismen macrostabiliteit en/of opbarsten/piping relevant zijn. Voor het hoofdsysteem Rivier is dit altijd het geval. Voor het hoofdsysteem Kust&Estuaria is dit nooit het geval. Voor het systeem Meer is dit afhankelijk van de specifieke locatie en zijn voorbeelden van beide situaties beschouwd. Ten slotte is onderscheid gemaakt naar de bebouwingssituatie in de uitbreidingszone van de dijk. Daarbij zijn voorbeelden van een druk bebouwde, een landelijke (onbebouwde), en een 'tussenin' situatie beschouwd. Binnen elk van deze hoofdkenmerken zijn vervolgens 2 voorbeelden van dijkvakken geselecteerd. Dit leidt in totaal tot een selectie van 24 dijkvakken waarvoor de kosteneffecten van de diverse variaties (t.o.v. de Basisvariant) zijn beschouwd. Tabel 8.3 geeft een overzicht van de geselecteerde dijkvakken.

| Type vak | Rivier (RRD-analyse) | Meer | | Kust & Estuaria (Niet RRD analyse) |
|-----------|-------------------------|--------------|------------------|---------------------------------------|
| | | RRD-analyse | Niet RRD-analyse | |
| Bebouwd | 15-1-4-A-2-A | 13-4-1-B-1-Z | 7-1-1-Z-1-C | 29-2-1-Z-3-Z |
| | 14-3-2-A-3-C (C) | 13-2-2-D-2-Z | 8-1-4-Z-1-Z | 13-1-2-Z-1-Z |
| Tussenin | 43-1-1-A-1-Z (G) | 13-2-1-C-4-Z | 7-1-2-Z-1-E (G) | 6-2-1-Z-3-U |
| | 38-1-1-B-3-C | 10-1-4-C-1-B | 8-2-3-Z-1-Z (2G) | 12-1-1-Z-1-F (G) |
| Landelijk | 48-1-3-A-1-E | 6-4-3-C-1-D | 8-1-2-Z-1-Z (G) | 2-1-1-Z-1-Z |
| | 34-1-2-B-1-D | 6-4-3-A-1-C | 7-1-1-Z-1-B | 32-2-1-Z-4-G |

(G), resp. (C) betekent: aanwezigheid van kruising met bovenliggende infrastructuur grond, resp. constructief

Tabel 8.3 Overzicht keuzevakken voor GVO dijkversterking

In de Tabel 8.4 t/m Tabel 8.7 is een overzicht gegeven van de analyseresultaten voor de geselecteerde dijkvakken binnen resp. de systemen Rivier, Meer RRD-analyse, Meer niet-RRD analyse en Kust&Estuaria. In deze tabellen zijn de effecten op de totale kosten voor de versterking van het dijkvak aangegeven als procentuele kostenverschillen t.o.v. de Basisvariant. De berekening van de kostenfunctie vindt plaats voor 20 discrete rekenstappen voor de kruinverhoging. De absolute grootte van deze rekenstappen verschilt per dijkvak, afhankelijk van de decimeringshoogte van kruinverhoging en zijn op zodanige wijze bepaald dat het bereik van de gehele kostencurve minimaal 2 decimeringshoogten beslaat. Voor de vergelijking van de kosteneffecten wordt steeds gekeken naar een vijftal punten over het bereik van de kostenfuncties per dijkvak, te weten de punten die overeenkomen met resp. de rekenstappen 1, 5, 10, 15 en 20. Het volgende geeft een overzicht en samenvatting van de belangrijkste observaties voor de beschouwde variaties.

Variatie 1a/b (factor voor zetting/klink bij vaststellen dijkverhoging)

Het relatieve effect is in geen enkel geval groter dan 10% en in de meeste gevallen beduidend minder. Volgens de verwachting is de algemene trend dat de invloed groter is op de minder bebouwde trajecten (waarbij het aandeel van de grondmaatregelen groter is).

Variatie 2a/b (minimaal toelaatbare cotangens eenzijdige taludversteiling)

In de onbebouwde situaties zijn de effecten doorgaans verwaarloosbaar (omdat taludversteiling vrijwel niet voorkomt). Ook in de meer bebouwde situaties zijn de effecten beperkt (in de meeste gevallen beneden de 5%). In de tussenin situaties komen soms wat grotere effecten voor, maar slechts in een enkel geval boven de 10% (maximaal 16% bij Rivier).

Variatie 3a/b (maximale verticale lengte damwand in dijklichaam)

In de onbebouwde situaties zijn de effecten verwaarloosbaar (weinig of geen constructieve maatregelen). Ook in de meer bebouwde situaties zijn de effecten beperkt. In de tussenin situaties komen soms wat grotere effecten voor. Maximum waarden komen niet boven de 10%. De meeste waarden zijn beduidend kleiner dan dat.

Variatie 4a/b (maximale lengte verticale constructie)

In geen enkel geval is er sprake van een toename van de kosten (geval 4a) hetgeen er op duidt dat in de geselecteerde voorbeeld dijkvakken de maximale lengte zoals gehanteerd in de Basisvariant nooit worden overschreden. Als de maximale lengte verder wordt beperkt (geval 4b) zien we wel enige afname van de kosten (vrijwel uitsluitend in de bebouwde situatie). Hier doen zich enkele waarden voor boven de 10% (met als uitschieter -19%).

Variatie 5a/b (standaard lengte extra dijktracé bij kruisingen)

Dit effect doet zich selectief voor, namelijk bij die dijkvakken waar ook sprake is van het voorkomen van kruisingen met bovenliggende infrastructuur (aangegeven in Tabel 8.3). De effecten zijn over het algemeen zeer gering. In een enkel geval wordt een effect bereikt van 21% maar dat gebeurt alleen in rekenstap 1 waarbij de kosten van versterking nog heel gering zijn zodat de (constante) kosten van een aanvullende voorziening een relatief groot verschil maken.

Variatie 6a/b (wegingsfactoren berekening te verplaatsen infrastructuur)

Van deze variatie wordt voor geen enkel dijkvak een significant effect gevonden. Het effect van aanwezige infrastructuur buiten het bestaande dijkprofiel is kennelijk heel gering. Een verklaring is dat dergelijke infrastructuur vaak is gekoppeld aan aanwezige bebouwing. In die

gevallen wordt doorgaans voor constructieve oplossingen gekozen om de bebouwing te ontzien, zodat ook de infrastructuur niet behoeft te worden verplaatst.

Variatie 7a/b (opslagfactoren i.v.m. moeilijkheidsgraad maatregelen)

Hier is in alle gevallen sprake van een significant en vrij constant effect (orde 10%-13%).

Variatie 8a/b (kostenfactoren voor berekening bijzondere constructies)

Voor de landelijke situaties treden geen effecten op (door het ontbreken van de bijzondere constructieve oplossingen). In de bebouwde situaties treden in alle gevallen zeer significante effecten op tot boven de 30%. In de 'tussenin' situaties treden in een enkel geval effecten op die (veel) kleiner zijn dan in de bebouwde situaties.

Variatie 9a/b (gehanteerde grondprijzen)

In dit geval zijn de effecten het grootst in de landelijke situaties (tot orde 10-15%). In de bebouwde situaties zijn de effecten over het algemeen vrij gering. In de 'tussenin' situaties liggen de effecten in de orde van 5%-10%.

Variatie 10/11 (factoren benodigde verbreding dijkbasis op grond van RRD analyse)

Hier zijn alleen effecten te zien voor de dijkvakken waarbij sprake is van een RRD analyse (Rivier en Meer). De effecten van vergroting verbreding dijkbasis t.b.v. macrostabiliteit zijn over het algemeen veel forser dan de effecten t.b.v. opbarsten/piping. Voor macrostabiliteit komen in een enkel geval uitschieters voor tot boven de 40% en in veel gevallen waarden tussen 20% en 30%. Voor opbarsten/piping ligt dit meer in de range van 10% tot 15%.

Samenvatting van resultaten

De belangrijkste en meest eenduidige effecten worden gevonden voor de beschouwde variaties 7a/b (opslagfactoren); 8a/b (kostenfactoren voor bijzondere constructies); 9a/b (grondprijzen); en 10/11 (factoren benodigde verbreding dijkbasis in relatie tot interpretatie RRD analyse). Daarbij geldt dat de effecten van de kostenfactoren voor bijzondere constructies en de grondprijzen min of meer complementair zijn, in die zin dat de eerste vooral effect hebben op bebouwde situaties en de laatste meer op landelijke (onbebouwde) situaties.

Alle overige effecten zijn veel beperkter en specifiek. Behoudens enkele uitschieters en uitzonderingen worden deze effecten ruimschoots overtroffen door de effecten in de eerstgenoemde groep. Daarbij geldt dat van de overige, qua aard nogal uiteenlopende en onafhankelijke onzekerheden, ook in veel mindere mate een structureel effect op de totale uitkomsten te verwachten is.

| Variaties | Overzicht kosten basisvariant (K€) en kostenverschillen bij varianten (%) | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 |
| | Rivier - bebouwd - dijkvak 15-1-4-A-2-A | | | | | Rivier - bebouwd - dijkvak 14-3-2-A-3-C | | | | |
| Basisvariant (K€) | 45278 | 48470 | 49721 | 54691 | 56743 | 46343 | 46161 | 49463 | 50502 | 53587 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% |
| % verschil variatie 1b | 0% | 0% | 0% | -1% | -1% | 0% | 0% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | -5% | -5% | -9% | -9% | -13% | -13% | -16% | -16% | -19% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 1% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | -1% | -1% | -1% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 10% | 10% | 10% | 10% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% |
| % verschil variatie 7b | -10% | -10% | -10% | -10% | -10% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% |
| % verschil variatie 8a | 33% | 32% | 32% | 31% | 30% | 33% | 33% | 33% | 33% | 33% |
| % verschil variatie 8b | -24% | -24% | -24% | -23% | -22% | -25% | -25% | -25% | -25% | -25% |
| % verschil variatie 9a | 0% | 0% | 1% | 1% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9b | 0% | 0% | -1% | -1% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 3% | 3% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Rivier - tussenin - dijkvak 43-1-1-A-1-Z | | | | | Rivier - tussenin - dijkvak 38-1-1-B-3-C | | | | |
| Basisvariant (K€) | 10979 | 17369 | 25809 | 34855 | 45704 | 4060 | 9522 | 16456 | 24570 | 30900 |
| % verschil variatie 1a | 1% | 4% | 4% | 7% | 6% | 3% | 6% | 8% | 7% | 5% |
| % verschil variatie 1b | -2% | -4% | -3% | -7% | -7% | -3% | -7% | -5% | -5% | -6% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 9% | 10% | 4% | 0% | 7% | 16% | 9% | 3% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | -6% | -10% | 0% | 0% | -5% | -14% | -9% |
| % verschil variatie 3a | 3% | 10% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | -10% | -7% | -5% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 3% | 2% | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | -3% | -2% | -1% | -1% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 11% | 11% |
| % verschil variatie 7b | -13% | -12% | -12% | -12% | -12% | -13% | -13% | -12% | -11% | -11% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 3% | 5% | 5% | 6% | 6% | 2% | 4% | 4% | 5% | 5% |
| % verschil variatie 9b | -2% | -3% | -3% | -4% | -4% | -2% | -3% | -3% | -3% | -3% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 15% | 15% | 20% | 18% | 0% | 18% | 16% | 17% | 22% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 2% | 2% |
| | Rivier - landelijk - dijkvak 48-1-3-A-1-E | | | | | Rivier - landelijk - dijkvak 34-1-2-B-1-D | | | | |
| Basisvariant (K€) | 3951 | 5690 | 8416 | 11086 | 14131 | 2856 | 4384 | 6542 | 9489 | 12262 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 3% | 5% | 6% | 7% | 1% | 4% | 5% | 7% | 6% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -3% | -5% | -6% | -6% | -1% | -4% | -7% | -7% | -7% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 2% | 1% | 0% | 1% | 2% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | -2% | -1% | 0% | -1% | -1% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 13% | 13% | 13% | 12% | 13% | 13% | 13% | 13% |
| % verschil variatie 7b | -13% | -12% | -12% | -12% | -11% | -13% | -12% | -11% | -11% | -11% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 2% | 8% | 11% | 12% | 13% | 4% | 13% | 15% | 17% | 18% |
| % verschil variatie 9b | -1% | -6% | -8% | -8% | -9% | -3% | -8% | -10% | -11% | -12% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 14% | 20% | 22% | 25% | 4% | 17% | 24% | 28% | 25% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 9% | 13% | 17% | 12% |

Tabel 8.4 Vergelijking resultaten beschouwde variaties met Basisvariant – Rivier

| Variaties | Overzicht kosten basisvariant (K€) en kostenverschillen bij varianten (%) | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 |
| | Meer RRD - bebouwd - dijkvak 13-4-1-B-1-Z | | | | | Meer RRD - bebouwd - dijkvak 13-2-2-D-2-Z | | | | |
| Basisvariant (K€) | 35781 | 41115 | 52462 | 68373 | 77081 | 55051 | 70482 | 107490 | 138784 | 187722 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 1% | 4% | 4% | 3% | 0% | 1% | 3% | 4% | 4% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -1% | -4% | -4% | -3% | 0% | -1% | -2% | -4% | -5% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 1% | 2% | 3% | 0% | 1% | 2% | 3% | 3% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | -2% | -2% | 0% | 0% | -2% | -2% | -3% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | -4% | -8% | -7% | -10% | -9% | -11% | -10% | -11% | -11% | -14% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 11% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 28% | 25% | 20% | 16% | 15% | 26% | 20% | 14% | 11% | 8% |
| % verschil variatie 8b | -21% | -19% | -15% | -12% | -11% | -19% | -15% | -10% | -8% | -6% |
| % verschil variatie 9a | 1% | 3% | 6% | 7% | 8% | 0% | 4% | 6% | 7% | 7% |
| % verschil variatie 9b | -1% | -2% | -4% | -4% | -5% | 0% | -2% | -4% | -4% | -5% |
| % verschil variatie 10 | 1% | 5% | 18% | 11% | 12% | 0% | 13% | 25% | 27% | 23% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Meer RRD - tussenin - dijkvak 13-2-1-C-4-Z | | | | | Meer RRD - tussenin - dijkvak 10-1-4-C-4-B | | | | |
| Basisvariant (K€) | 3056 | 5581 | 11435 | 18372 | 28152 | 1729 | 2419 | 4440 | 7321 | 10384 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 2% | 10% | 7% | 8% | 0% | 2% | 7% | 9% | 9% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -2% | -3% | -6% | -8% | 0% | -2% | -7% | -8% | -6% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 11% | 1% | 6% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | 0% | -2% | 0% | 0% | -3% | -7% | -2% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | -1% | -2% | -3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -13% | -12% | -12% | -11% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 3% | 7% | 7% | 7% | 8% | 1% | 4% | 5% | 5% | 6% |
| % verschil variatie 9b | -2% | -5% | -4% | -5% | -6% | -1% | -3% | -3% | -3% | -4% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 28% | 40% | 46% | 45% | 0% | 16% | 13% | 31% | 17% |
| % verschil variatie 11 | 3% | 13% | 12% | 11% | 2% | 2% | 9% | 13% | 14% | 6% |
| | Meer RRD - landelijk - dijkvak 6-4-3-C-1-D | | | | | Meer RRD - landelijk - dijkvak 6-4-3-A-1-C | | | | |
| Basisvariant (K€) | 448 | 3640 | 7030 | 10323 | 13712 | 392 | 1194 | 2033 | 2711 | 3443 |
| % verschil variatie 1a | 1% | 4% | 5% | 6% | 7% | 0% | 2% | 3% | 6% | 7% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -3% | -5% | -6% | -7% | 0% | -2% | -2% | -3% | -6% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 12% | 12% | 13% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -11% | -11% | -13% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 0% | 5% | 8% | 10% | 11% | 0% | 5% | 6% | 8% | 9% |
| % verschil variatie 9b | 0% | -3% | -5% | -7% | -7% | 0% | -3% | -4% | -5% | -6% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 24% | 23% | 29% | 32% | 0% | 21% | 13% | 23% | 26% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 16% | 2% | 0% | 0% | 0% | 8% | 12% | 14% | 13% |

Tabel 8.5 Vergelijking resultaten beschouwde variaties met Basisvariant - Meer RRD analyse

| Variaties | Overzicht kosten basisvariant (K€) en kostenverschillen bij varianten (%) | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 |
| | Meer niet-RRD - bebouwd - dijkvak 7-1-1-Z-1-C | | | | | Meer niet-RRD - bebouwd - dijkvak 8-1-4-Z-1-Z | | | | |
| Basisvariant (K€) | 25689 | 33463 | 48579 | 63322 | 80896 | 18133 | 22547 | 37029 | 44301 | 53609 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 1% | 5% | 3% | 4% | 1% | 5% | 5% | 2% | 8% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -1% | -5% | -3% | -6% | 0% | -4% | -6% | -2% | -6% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 0% | 5% | 3% | 0% | 0% | 0% | 13% | 11% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | 0% | -4% | 0% | 0% | 0% | 0% | -6% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | -2% | 0% | 0% | 0% | -2% | -8% | -8% | -5% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 13% | 13% | 13% | 13% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 30% | 24% | 19% | 16% | 13% | 18% | 15% | 10% | 8% | 8% |
| % verschil variatie 8b | -23% | -18% | -14% | -12% | -10% | -13% | -11% | -7% | -6% | -6% |
| % verschil variatie 9a | 0% | 2% | 3% | 3% | 4% | 0% | 2% | 2% | 2% | 3% |
| % verschil variatie 9b | 0% | -1% | -2% | -2% | -2% | 0% | -1% | -1% | -2% | -2% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Meer niet-RRD - tussenin - dijkvak 7-1-2-Z-1-E | | | | | Meer niet-RRD - tussenin - dijkvak 8-2-3-Z-1-Z | | | | |
| Basisvariant (K€) | 2477 | 4789 | 7841 | 11360 | 14707 | 47552 | 62547 | 91214 | 120996 | 153480 |
| % verschil variatie 1a | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 0% | 4% | 6% | 6% | 8% |
| % verschil variatie 1b | -5% | -5% | -5% | -5% | -5% | 0% | -4% | -5% | -6% | -7% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 21% | 11% | 7% | 5% | 4% | 2% | 1% | 1% | 1% | 1% |
| % verschil variatie 5b | -21% | -11% | -7% | -5% | -4% | -2% | -1% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 13% | 13% | 13% | 13% | 12% | 12% | 13% | 13% | 13% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -11% | -11% | -13% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 1% | 1% | 1% | 1% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 9a | 9% | 11% | 11% | 12% | 12% | 2% | 7% | 9% | 10% | 10% |
| % verschil variatie 9b | -6% | -7% | -8% | -8% | -8% | -2% | -4% | -6% | -6% | -7% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Meer niet-RRD - landelijk - dijkvak 8-1-2-Z-1-Z | | | | | Meer niet-RRD - landelijk - dijkvak 7-1-1-Z-1-B | | | | |
| Basisvariant (K€) | 26560 | 40813 | 62238 | 85506 | 108516 | 4895 | 22117 | 46038 | 67838 | 98076 |
| % verschil variatie 1a | 1% | 5% | 6% | 7% | 7% | 0% | 3% | 4% | 5% | 5% |
| % verschil variatie 1b | -1% | -4% | -6% | -7% | -7% | 0% | -3% | -4% | -4% | -8% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 1% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | -1% | -2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 2% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 2% | 1% | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | -2% | -1% | -1% | -1% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 13% | 13% | 13% |
| % verschil variatie 7b | -13% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 3% | 6% | 8% | 8% | 9% | 0% | 8% | 10% | 10% | 9% |
| % verschil variatie 9b | -2% | -4% | -5% | -6% | -6% | 0% | -6% | -7% | -7% | -6% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Tabel 8.6 Vergelijking resultaten beschouwde variaties met Basisvariant - Meer (niet-RRD)

| Variaties | Overzicht kosten basisvariant (K€) en kostenverschillen bij varianten (%) | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 |
| | Kust&Estuaria - bebouwd - dijkvak 29-2-1-Z-3-Z | | | | | Kust&Estuaria - bebouwd - dijkvak 13-1-2-Z-1-Z | | | | |
| Basisvariant (K€) | 17352 | 21722 | 26960 | 32130 | 34864 | 32580 | 35104 | 35561 | 38697 | 39579 |
| % verschil variatie 1a | 1% | 1% | 3% | 2% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 1b | -1% | -1% | -4% | -3% | -2% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 5% | 5% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | -7% | -5% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | -4% | -8% | -7% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 14% | 13% | 13% | 12% | 12% | 14% | 14% | 14% | 14% | 14% |
| % verschil variatie 7b | -13% | -13% | -12% | -12% | -12% | -13% | -13% | -13% | -13% | -13% |
| % verschil variatie 8a | 28% | 22% | 20% | 18% | 18% | 33% | 33% | 33% | 33% | 33% |
| % verschil variatie 8b | -21% | -17% | -15% | -14% | -13% | -25% | -25% | -25% | -25% | -25% |
| % verschil variatie 9a | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9b | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Kust&Estuaria - tussenin - dijkvak 6-2-1-Z-3-U | | | | | Kust&Estuaria - tussenin - dijkvak 12-1-1-Z-1-F | | | | |
| Basisvariant (K€) | 14957 | 18516 | 23552 | 27433 | 31974 | 8790 | 15058 | 24911 | 34329 | 43941 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 2% | 3% | 4% | 4% | 1% | 6% | 7% | 7% | 6% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -2% | -3% | -3% | -4% | -2% | -6% | -7% | -6% | -8% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 3% | 3% | 0% | 0% | 0% | 6% | 2% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | -2% | -3% | 0% | 0% | -2% | -4% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | -1% | -2% | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 4% | 2% | 1% | 1% | 1% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -4% | -2% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 13% | 13% | 13% | 13% | 13% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| % verschil variatie 7b | -13% | -13% | -12% | -12% | -12% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% |
| % verschil variatie 8a | 24% | 19% | 16% | 14% | 14% | 12% | 8% | 5% | 4% | 3% |
| % verschil variatie 8b | -18% | -14% | -12% | -11% | -10% | -9% | -6% | -4% | -3% | -2% |
| % verschil variatie 9a | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% | 4% | 8% | 9% | 9% | 10% |
| % verschil variatie 9b | 0% | -1% | -2% | -3% | -3% | -3% | -5% | -6% | -6% | -7% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Kust&Estuaria - landelijk - dijkvak 2-1-1-Z-1-Z | | | | | Kust&Estuaria - landelijk - dijkvak 32-2-1-Z-4-G | | | | |
| Basisvariant (K€) | 12428 | 25566 | 43259 | 58797 | 75467 | 1399 | 4836 | 9379 | 13381 | 17913 |
| % verschil variatie 1a | 0% | 4% | 6% | 7% | 8% | 0% | 7% | 6% | 8% | 7% |
| % verschil variatie 1b | 0% | -4% | -6% | -7% | -7% | 0% | -10% | -6% | -8% | -9% |
| % verschil variatie 2a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 2b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 3a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 3b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -1% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 4b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 5b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 6b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 7a | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 12% | 13% | 13% | 13% | 13% |
| % verschil variatie 7b | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% |
| % verschil variatie 8a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 8b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 9a | 2% | 6% | 7% | 8% | 8% | 7% | 9% | 10% | 10% | 11% |
| % verschil variatie 9b | -2% | -4% | -4% | -5% | -5% | -4% | -6% | -7% | -7% | -7% |
| % verschil variatie 10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 11 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Tabel 8.7 Vergelijking resultaten beschouwde variaties met Basisvariant - Kust&Estuaria

8.4 Resultaten gevoeligheidsonderzoek versterking Dijkbekleding

Voor het bepalen van de effecten van de variaties in de invoergegevens bij de kostenbepaling van versterking dijkbekleding (zie par. 8.2.2) is niet gekeken naar de effecten op een selectie van dijkvakken maar is met de verschillende kostenfunctie generatoren voor dijkbekleding (Kust & Estuaria, Meer en Rivier) direct een berekening gemaakt voor het totaal effect van alle dijkvakken binnen de hoofdsystemen. Een overzicht van de effecten van de variaties is

gegeven in Tabel 8.8. Evenals voor de variaties dijkversterking wordt een vergelijking gemaakt van de kosteneffecten voor een vijftal punten over het bereik van de kostenfuncties (voor de rekenstappen 1, 5, 10, 15 en 20) waarbij voor elke variatie het procentuele verschil met de berekende kosten voor de Basisvariant wordt aangegeven. Het volgende geeft een overzicht en samenvatting van de belangrijkste observaties voor de beschouwde gevallen.

| Variaties | Kust & Estuaria | | | | | Meer | | | | |
|---------------------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 | Stap 1 | Stap 5 | Stap 10 | Stap 15 | Stap 20 |
| Basisvariant (k€) | 167755 | 834593 | 1820957 | 2729477 | 3316565 | 35534 | 181695 | 405087 | 642314 | 868521 |
| % verschil variatie 12a | 0% | 2% | 3% | 3% | 3% | 0% | 3% | 5% | 5% | 8% |
| % verschil variatie 12b | 0% | -1% | -3% | -4% | -4% | 0% | 0% | -2% | -2% | -2% |
| % verschil variatie 13a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% |
| % verschil variatie 13b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 14a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 14b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 15a | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 13% | 3% | 1% | 1% | 0% |
| % verschil variatie 15b | -4% | -1% | 0% | 0% | 0% | -2% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 16 | 11% | 8% | 7% | 5% | 4% | 4% | 5% | 7% | 6% | 5% |
| % verschil variatie 17a | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 17b | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 18a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 18b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 19a | 7% | 8% | 8% | 8% | 8% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 19b | -7% | -8% | -8% | -8% | -8% | - | - | - | - | - |
| % verschil variatie 20a | 2% | 2% | 1% | 1% | 1% | 5% | 3% | 3% | 3% | 3% |
| % verschil variatie 20b | -3% | -2% | -1% | -1% | -1% | -5% | -3% | -3% | -3% | -3% |
| % verschil variatie 21a | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 21b | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 22a | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 22b | -1% | 0% | 0% | 0% | 0% | -2% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| % verschil variatie 23 | | | | | | 0% | 5% | 5% | 6% | 6% |
| % verschil variatie 24a | 82% | 87% | 42% | 14% | 6% | 88% | 83% | 52% | 28% | 15% |
| % verschil variatie 24b | -74% | -51% | -29% | -17% | -9% | -64% | -50% | -28% | -20% | -12% |
| % verschil variatie 25a | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 2% | 1% |
| % verschil variatie 25b | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% | -1% |
| % verschil variatie 26a*) | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% |
| % verschil variatie 26b*) | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% |

*) Geldt ook voor hoofdsysteem Rivier

Tabel 8.8 Vergelijking resultaten variaties Dijkbekleding met Basisvariant

Variatie 12a/b (toename waterstand (dH) voor verzwareningstap harde bekleding)

De effecten nemen wat toe met het oplopen van de rekenstappen maar zijn in omvang beperkt tot orde 5%.

Variatie 13a/b (minimale waarde cotangens buitentalud)

De effecten zijn over de hele linie vrijwel verwaarloosbaar.

Variatie 14a/b (maximale lengte buitenberm voor bermophoging)

De effecten zijn over de hele linie vrijwel verwaarloosbaar.

Variatie 15a/b (marge hoogteligging buitenberm en Ontwerppeil voor bermophoging)

Alleen voor de eerste rekenstap (waar nog sprake is van lage kosten) is er een duidelijk effect. Met de toename van het aantal rekenstappen wordt het effect verwaarloosbaar.

Variatie 16 (parameters vergroting dH reserve bij flauwe hellingen buitentalud)

Behoudens de eerste rekenstap is er een vrij constant effect in de orde van 5% tot 7%.

Variatie 17a/b (factor bepaling lengte buitenberm op basis van Hs)

Dit geldt alleen voor het systeem Kust&Estuaria. De effecten zijn over de hele linie vrijwel verwaarloosbaar.

Variatie 18a/b (verandering Hs als fractie van toename waterstand dH)

Dit geldt alleen voor het systeem Kust&Estuaria. De effecten zijn verwaarloosbaar.

Variatie 19a/b (ligging ondergrens ondertalud boven gemiddeld laag water)

Dit geldt alleen voor het systeem Kust&Estuaria. Het effect is vrijwel constant (in de orde van 8%).

Variatie 20a/b (lengte horizontale beëindiging harde bekledingen op berm)

Hier is sprake van een beperkt en redelijk constant effect (in de orde van 3%).

Variatie 21a/b (minimaal te hanteren bermlengte)

De effecten zijn over de hele linie vrijwel verwaarloosbaar.

Variatie 22a/b (maximale breedte onderhoudspad op berm)

De effecten zijn over de hele linie vrijwel verwaarloosbaar.

Variatie 23a/b (ligging bovenbegrenzing bekleding boventalud boven Ontwerppeil)

Dit geldt alleen voor het systeem Meer. Het effect is vrijwel constant (in de orde van 6%).

Variatie 24a/b (parameters voor omgaan met dH reserve bij versterking bekleding)

Hier is sprake van een zeer sterk effect dat zich vooral manifesteert door een toename (afname) van de kosten over het eerste deel van de kostenfunctie. Vanaf rekenstap 5 à 10 neemt het relatieve effect sterk af, maar blijft significant.

Variatie 25a/b (aandeel aanwezige harde bekleding met extra milieubelasting)

Dit effect is vrijwel constant maar zeer beperkt.

Variatie 26a/b (verhoging en verlaging opslagfactor)

Dit effect is het enige dat geldt voor alle hoofdsystemen (Rivier, Meer en Kust&Estuaria). Het effect is significant en constant.

Samenvatting van resultaten

Veruit de belangrijkste effecten worden gevonden voor variaties 24a/b (parameters voor omgaan met dH reserve bij versterking bekleding). Daarnaast geeft het aanpassen van de opslagfactoren (26a/b) het grootste en meest eenduidige effect te zien. Voor de meeste overige effecten geldt dat ze vrij beperkt en soms geheel verwaarloosbaar zijn. Voor de wat grotere, overige effecten geldt in ieder geval dat ze worden gedomineerd door de beide eerstgenoemde effecten.

8.5 Resultaten gevoeligheidsonderzoek versterking Kunstwerken

Tabel 8.9 geeft een overzicht van de kosten voor de aanpassing van kunstwerken zoals die zijn berekend voor de Basisvariant, uitgesplitst per type kunstwerk. De absolute kosten en de

uitsplitsing van kosten zijn daarbij gegeven in absolute waarden (K€) en relatieve waarden (%) voor de rekenstappen 1, 5, 10, 15 en 20. Hieruit valt op te maken dat de kosten voor aanpassing gemalen en schutsluizen in het totale kostenplaatje domineren (ca 2/3 van de totale kosten uitmaken). Wat de gemalen betreft komt dit door het relatief grote aantal. Het hoge aandeel van de schutsluizen heeft vooral te maken met de aard en omvang van de kunstwerken.

| Type kunstwerk | Kosten Basisvariant (K€) per rekenstap | | | | |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Coupure | 12307 | 13772 | 53062 | 70855 | 76954 |
| Gemaal | 74877 | 115640 | 174489 | 259484 | 392267 |
| Inlaatwerk | 10231 | 14810 | 51553 | 89421 | 110480 |
| Keersluis | 25854 | 30135 | 55180 | 83509 | 108687 |
| Schutsluis | 85872 | 134728 | 260666 | 523142 | 953208 |
| Uitwateringssluis | 26223 | 29849 | 89268 | 126169 | 152503 |
| Overig (duiker, hevel) | 12234 | 17919 | 86107 | 123596 | 138294 |
| Totaal | 247597 | 356853 | 770325 | 1276177 | 1932393 |
| | Kosten per type kunstwerk als % totale kosten kunstwerken | | | | |
| Coupure | 5% | 4% | 7% | 6% | 4% |
| Gemaal | 30% | 32% | 23% | 20% | 20% |
| Inlaatwerk | 4% | 4% | 7% | 7% | 6% |
| Keersluis | 10% | 8% | 7% | 7% | 6% |
| Schutsluis | 35% | 38% | 34% | 41% | 49% |
| Uitwateringssluis | 11% | 8% | 12% | 10% | 8% |
| Overig (duiker, hevel) | 5% | 5% | 11% | 10% | 7% |
| Totaal | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Tabel 8.9 Uitsplitsing bijdragen aan kosten Basisvariant per type kunstwerk

Voor het bepalen van de effecten van de variaties in de invoerparameters bij de kostenbepaling van de versterking van kunstwerken is voor de rekenstappen 1, 5, 10, 15 en 20 gekeken naar de effecten op de totale kosten en de kosten per type kunstwerk, waarbij voor elke variatie het procentuele verschil met de berekende kosten voor de Basisvariant wordt aangegeven (zie onderstaande tabel). Het volgende geeft een overzicht en samenvatting van de belangrijkste observaties voor de beschouwde variaties.

| Type kunstwerk | Rekenstap | | | | |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Basisvariant (K€) | | | | | |
| Coupure | 12307 | 13772 | 53062 | 70855 | 76954 |
| Gemaal | 74877 | 115640 | 174489 | 259484 | 392267 |
| Inlaatwerk | 10231 | 14810 | 51553 | 89421 | 110480 |
| Keersluis | 25854 | 30135 | 55180 | 83509 | 108687 |
| Schutsluis | 85872 | 134728 | 260666 | 523142 | 953208 |
| Uitwateringssluis | 26223 | 29849 | 89268 | 126169 | 152503 |
| Overig (duiker, hevel) | 12234 | 17919 | 86107 | 123596 | 138294 |
| Totaal | 247597 | 356853 | 770325 | 1276177 | 1932393 |
| 27a Selectieve KW 1 klasse groter | | | | | |
| Coupure | 167% | 167% | 167% | 167% | 167% |
| Gemaal | 84% | 86% | 87% | 91% | 85% |
| Inlaatwerk | 196% | 196% | 197% | 196% | 194% |
| Keersluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Schutsluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Uitwateringssluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Overig (duiker, hevel) | 233% | 233% | 233% | 233% | 233% |
| Totaal | 53% | 54% | 70% | 64% | 52% |
| 27b Selectieve KW 1 klasse kleiner | | | | | |
| Coupure | -79% | -79% | -79% | -79% | -79% |
| Gemaal | -60% | -60% | -60% | -60% | -60% |
| Inlaatwerk | -70% | -70% | -70% | -70% | -70% |
| Keersluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Schutsluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Uitwateringssluis | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Overig (duiker, hevel) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Totaal | -25% | -25% | -24% | -21% | -19% |
| 28a Opslagfactor * 1.50 | | | | | |
| Coupure | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Gemaal | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Inlaatwerk | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Keersluis | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Schutsluis | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Uitwateringssluis | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Overig (duiker, hevel) | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Totaal | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| 28b Opslagfactor * 0.67 | | | | | |
| Coupure | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Gemaal | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Inlaatwerk | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Keersluis | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Schutsluis | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Uitwateringssluis | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Overig (duiker, hevel) | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| Totaal | -33% | -33% | -33% | -33% | -33% |
| 29a: dH-vervanging * 0.80 | | | | | |
| Coupure | 0% | 110% | 28% | 9% | 3% |
| Gemaal | 0% | 0% | 8% | 45% | 46% |
| Inlaatwerk | 0% | 0% | 22% | 15% | 6% |
| Keersluis | 0% | 0% | 21% | 22% | 10% |
| Schutsluis | 0% | 0% | 38% | 54% | 38% |
| Uitwateringssluis | 0% | 0% | 5% | 13% | 8% |
| Overig (duiker, hevel) | 0% | 149% | 37% | 12% | 5% |
| Totaal | 0% | 12% | 24% | 37% | 30% |
| 29b: dH-vervanging * 1.25 | | | | | |
| Coupure | 0% | 0% | -43% | -15% | -8% |
| Gemaal | 0% | 0% | -1% | -8% | -27% |
| Inlaatwerk | 0% | 0% | 0% | -17% | -15% |
| Keersluis | 0% | 0% | 0% | -17% | -15% |
| Schutsluis | 0% | 0% | 0% | -10% | -21% |
| Uitwateringssluis | 0% | 0% | -1% | -13% | -14% |
| Overig (duiker, hevel) | 0% | 0% | -24% | -9% | -6% |
| Totaal | 0% | 0% | -6% | -11% | -20% |

Tabel 8.10

Vergelijking resultaten variaties kunstwerken met Basisvariant

Variatie 27a/b (variatie grootteklassen van de kleinere kunstwerken)

Indien voor alle kleinere kunstwerken (coupures, gemalen, inlaatwerken en duikers/hevels) zou worden aangenomen dat de in de Basisvariant gehanteerde grootten met 1 klasse zouden worden verhoogd of verlaagd ontstaat een zeer significant effect. Een vergroting over de hele linie met één klasse zou de totale kosten verhogen met 50% tot 70%. Het effect op de individuele typen kunstwerken kan daarbij oplopen tot meer dan 200%. Indien de grootte met één klasse wordt verlaagd is dit effect veel minder. Dit wordt o.a. veroorzaakt door het feit dat in de huidige inventarisatie aan een aantal kunstwerken al de kleinste grootteklasse is toegekend. In die gevallen treedt dus geen kostenverlaging op.

Variatie 28a/b (aanpassing opslagfactoren kostenberekeningen)

De variatie gaat uit van een integrale verhoging en verlaging van de gehanteerde opslagfactoren door vermenigvuldiging met een factor 1,5, resp. 2/3. Dat leidt dus over de hele linie tot een kostenverhoging van 50%, resp. een kostenverlaging van 33%.

Variatie 29a/b (aanpassing van toename waterstand (dH) vervanging kunstwerk)

Het verkleinen van de mogelijke toename van de waterstand (dH) waarbij het kunstwerk moet worden vervangen (geval 29a) leidt tot verschuiving van de kostencurve in de richting van de oorsprong. Gegeven de verschillen in de aannamen die hiervoor per type kunstwerk in de Basisvariant zijn gemaakt treden per kunstwerk ook vrij grote verschillen op. Bij de kleinere kunstwerken (coupures en duikers/hevels) is het in de Basisvariant aangenomen dH-punt van vervanging relatief klein en doen de effecten zich vooral in het eerste deel van de kostencurve (rond rekenstap 5) gevoelen. Voor kunstwerken als gemalen en schutsluizen is het aangenomen punt van vervanging in de Basisvariant veel groter en zit het effect vooral in het tweede deel van de kostenfunctie (rond rekenstap 15). Voor de overige kunstwerken zitten de effecten daar tussenin. Over de hele linie is sprake van een zeer significant effect. Als het dH-punt van vervanging naar achteren wordt geschoven (geval 29b) zien we vooral effecten ontstaan in het tweede deel van de kostenfunctie. De relatieve effecten zijn daarbij kleiner omdat voor een deel van de kunstwerken geldt dat in de Basisvariant het punt van vervanging niet binnen rekenstap 20 wordt bereikt.

Samenvatting van resultaten

Alle bovengenoemde effecten zijn zeer significant en kunnen leiden tot forse aanpassingen van de kostenfuncties voor de aanpassing van kunstwerken. Wel is het zo dat bepaalde effecten wat minder reëel zijn dan andere. Met name de veronderstelling dat voor de volledige groep van de kleinere typen kunstwerken zou moeten worden uitgegaan van gemiddelde grootten die een klasse hoger of lager zou kunnen liggen is minder waarschijnlijk. Over de hele linie geldt echter dat de onzekerheden in de aannamen die zijn gehanteerd voor de kostenbepaling van de aanpassing van kunstwerken groot zijn, en relatief ook groter dan voor de andere typen keringen.

8.6 Definitie en effecten van hoge en lage varianten kostenfuncties

Op grond van de gedetailleerde resultaten van het gevoeligheidsonderzoek voor de verschillende typen keringen is getracht realistische keuzen te maken voor een hoge en lage variant voor de kostenfunctie rond de Basisvariant. Het uitgangspunt is daarbij dat deze keuzen worden gebaseerd op de meest eenduidige en significante onzekerheden, rekening houdend met de mogelijkheden en waarschijnlijkheden dat deze onzekerheden ook tegelijkertijd van toepassing zouden kunnen zijn.

8.6.1 Hoge en lage variant deekostenfunctie Dijkversterking

Voor de hoge variant van de deekostenfunctie dijkversterking wordt uitgegaan van een situatie waarbij sprake is van een ongunstige situatie betreffende een aantal directe invloeden op de hoogte van de kostenberekeningen, te weten: de te hanteren opslagfactoren (variatie 7a); de gehanteerde factoren voor de bepaling van de kosten van bijzondere constructies op basis van de kosten van een kistdam (8a); en de grondprijzen (9a). De gedachte is dat hierbij een bepaalde samenhang kan bestaan waardoor het gelijktijdig voorkomen van een ongunstige situatie ten aanzien van deze verschillende kosteninvloeden aannemelijk is. Daarnaast wordt voor de hoge variant voor wat betreft de omvang van de benodigde maatregelen voor macrostabiliteit en opbarsten/piping uitgegaan van een relatief ongunstig bodemscenario (variates 10/11). De ongunstige aannamen betreffende de kosteninvloeden en de invloed van het bodemscenario kunnen als onafhankelijk worden beschouwd. Als aan het voorkomen van een relatief ongunstige situatie voor elk van deze beide invloeden een kans in de orde van 1/3 zou worden toegekend (uitgaande van gelijke kansen op een relatief gunstige, gemiddelde of ongunstige situatie) dan zou de overschrijdingskans van de hoge kostenvariant in de orde van 10% zijn. Met het expliciet beschouwen van deze, veruit dominante invloeden wordt aangenomen dat de effecten van de overige, als onafhankelijk te beschouwen onzekerheden redelijkerwijs zijn afgedekt.

Voor de lage kostenvariant lijkt het minder reëel om met een gelijktijdig effect van verschillende gunstige kosteninvloeden rekening te houden. Derhalve is alleen rekening gehouden met de lage variant van de opslagfactor (variatie 7b). Ook het hanteren van een gunstig bodemscenario als uitgangspunt voor het gehele dijkvak wordt niet reëel geacht, reden waarom dit ook niet als variant is beschouwd.

8.6.2 Hoge en lage variant deekostenfunctie Dijkbekleding

Ook in dit geval zijn er twee dominante, als onafhankelijk te beschouwen invloeden. De eerste heeft betrekking op de aannamen rond het omgaan met de dH reserve in relatie tot de mate en omvang van de versterking van de bekleding over het dijkvaktraject (variatie 24a). Bij de tweede gaat het om de hoogte van de te hanteren opslagfactor (variatie 26a). Ook hier zou aan het beschouwen van de combinatie van deze ongunstige aannamen zeer globaal een kans van 10% kunnen worden toegekend. Tevens is de veronderstelling dat door het beschouwen van deze dominante invloeden de effecten van de overige (onafhankelijke) onzekerheden worden afgedekt.

Voor de lage kostenvariant wordt uitgegaan van een combinatie van een iets gunstiger pakket aannamen rond het omgaan met de dH reserve en het tempo van versterking van de bekleding (variatie 24b) en een lagere opslagfactor (variatie 26b). Daarbij geldt de aantekening dat het gunstige effect van de aannamen onder variatie 24b beduidend kleiner is dan het ongunstige effect van de aannamen onder variant 24a.

8.6.3 Hoge en lage variant deekostenfunctie Kunstwerken

Hier wordt voor de te hanteren ongunstige invloeden voor de hoge kostenvariant uitgegaan van een combinatie van hoge opslagfactoren (variatie 28a) en het 'naar voren halen' van het dH-punt waarbij volledige vervanging van het kunstwerk nodig is (variatie 29a). het gaat hier wederom om een onafhankelijke combinatie waarvoor ruwweg een overschrijdingskans van 10% van toepassing zou kunnen zijn.

Voor de lage kostenvariant wordt uitgegaan van een combinatie van een lagere opslagfactor (variatie 28b) en het 'naar achteren schuiven' van het dH-punt waarbij volledige vervanging van het kunstwerk nodig is (variatie 29b).

Het variëren van de grootteklassen van de kleinere typen kunstwerken (variatie 27a/b) wordt verder niet beschouwd. Het doen van aanvullende veronderstellingen over het structureel veel groter of kleiner zijn van deze kunstwerken wordt minder reëel geacht. Qua orde van grootte is dit effect ook gedekt in de spreiding van de opslagfactoren.

8.6.4 Hoge en lage variant totale kostenfunctie

Voor het genereren van de hoge en lage variant voor de totale kostencurven is uitgegaan van het gelijktijdig van toepassing zijn van de bovengenoemde aannamen voor de verschillende typen keringen. Het is daarbij reëel om te veronderstellen dat de ongunstige, resp. gunstige aannamen voor de kosteninvloeden tegelijkertijd over de gehele linie zouden gelden (onderling afhankelijk zijn). Voor de overige, meer specifieke invloeden is dit niet direct het geval en is er sprake van bepaalde onafhankelijke invloeden. Dit leidt ertoe dat een over- cq. onderschrijdingskans van 10% van de totale kosten voor de hoge, respectievelijk de lage variant waarschijnlijk als een conservatieve schatting moet worden gezien (deze kans zou dus ook kleiner kunnen zijn).

8.6.5 Effecten van hoge en lage varianten kostenfuncties

Tabel 8.11 geeft een overzicht van de kosten van de Basisvariant en de relatieve effecten van de hoge en lage kostenvariant ten opzichte van de Basisvariant (als verschilpercentage). Hierbij is getracht inzicht te geven in de opbouw van de kosten van de Basisvariant en in de invloeden van de lage en hoge kostenvarianten over de verschillende typen keringen en versterkingsmaatregelen (dijkversterking, versterking dijkbekleding en kunstwerken) en de hoofdsystemen (Kust&Estuaria, Meer en Rivier).

De hoofdindeling van Tabel 8.11 in verticale zin is georganiseerd in 4 blokken per type kering/maatregel en voor het totaal. Binnen elk blok is in verticale zin een nader onderscheid gemaakt in subblokken naar de hoofdsystemen Kust&Estuaria, Meer, River en een (sub)totaal voor het betreffende blok. In de subblokken is weergegeven:

- De absolute kosten (K€) die voor het betreffende onderdeel van toepassing zijn voor de Basisvariant.
- De deekosten van de Basisvariant als percentage van de kosten van de Basisvariant voor het betreffende blok.
- De deekosten van de Basisvariant als percentage van de totale kosten van de Basisvariant.
- Het procentuele verschil van de hoge kostenvariant met de Basisvariant voor het betreffende onderdeel.
- Het procentuele verschil van de lage kostenvariant met de Basisvariant voor het betreffende onderdeel.

| | Hoofdsysteem | (Deel) kosten-functie | Eenheid | Rij-identificatie | Rekenstappen | | | | |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Dijkversterking (DV) | Kust&Estuaria | Basisvariant (BV) | K€ | DV-K-1 | 959485 | 1694918 | 2715324 | 3772987 | 4877787 |
| | | | % DV totaal | DV-K-2 | 18% | 21% | 23% | 24% | 24% |
| | | | % KF totaal | DV-K-3 | 16% | 18% | 18% | 18% | 19% |
| | | DV Hoog K | DV-K-4 | 28% | 28% | 28% | 27% | 27% | |
| | | DV Laag K | DV-K-5 | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | |
| | Meer | Basisvariant (BV) | K€ | DV-M-1 | 815651 | 1175755 | 1803718 | 2431398 | 3113307 |
| | | | % DV totaal | DV-M-2 | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% |
| | | | % KF totaal | DV-M-3 | 14% | 12% | 12% | 12% | 12% |
| | | DV Hoog M | DV-M-4 | 31% | 40% | 45% | 46% | 46% | |
| | | DV Laag M | DV-M-5 | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | |
| | Rivier | Basisvariant (BV) | K€ | DV-R-1 | 3621871 | 5158705 | 7355837 | 9666873 | 12124875 |
| | | | % DV totaal | DV-R-2 | 67% | 64% | 62% | 61% | 60% |
| | | | % KF totaal | DV-R-3 | 62% | 55% | 49% | 47% | 46% |
| | | DV Hoog R | DV-R-4 | 33% | 46% | 53% | 57% | 58% | |
| | | DV Laag R | DV-R-5 | -12% | -12% | -12% | -11% | -11% | |
| | Subtotaal Dijkversterking | Basisvariant (BV) | K€ | DV-Tot-1 | 5397007 | 8029379 | 11874878 | 15871257 | 20115969 |
| | | % KF totaal | DV-Tot-2 | 92% | 85% | 80% | 77% | 76% | |
| | DV Hoog Totaal | % verschil BV | DV-Tot-3 | 32% | 41% | 46% | 48% | 48% | |
| | DV Laag Totaal | % verschil BV | DV-Tot-4 | -12% | -12% | -12% | -12% | -12% | |
| Dijkbekleding (DB) | Kust&Estuaria | Basisvariant (BV) | K€ | DB-K-1 | 167755 | 834593 | 1820957 | 2729477 | 3316565 |
| | | | % DB totaal | DB-K-2 | 81% | 80% | 80% | 79% | 77% |
| | | | % KF totaal | DB-K-3 | 3% | 9% | 12% | 13% | 13% |
| | | DB Hoog K | DB-K-4 | 102% | 108% | 58% | 27% | 18% | |
| | | DB Laag K | DB-K-5 | -77% | -56% | -36% | -26% | -19% | |
| | Meer | Basisvariant (BV) | K€ | DB-M-1 | 35534 | 181695 | 405087 | 642314 | 868521 |
| | | | % DB totaal | DB-M-2 | 17% | 17% | 18% | 19% | 20% |
| | | | % KF totaal | DB-M-3 | 1% | 2% | 3% | 3% | 3% |
| | | DB Hoog M | DB-M-4 | 110% | 104% | 69% | 42% | 28% | |
| | | DB Laag M | DB-M-5 | -68% | -56% | -36% | -29% | -22% | |
| | Rivier | Basisvariant (BV) | K€ | DB-R-1 | 4644 | 23220 | 46440 | 74892 | 108597 |
| | | | % DB totaal | DB-R-2 | 2% | 2% | 2% | 2% | 3% |
| | | | % KF totaal | DB-R-3 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | DB Hoog R | DB-R-4 | 11% | 11% | 11% | 11% | 11% | |
| | | DB Laag R | DB-R-5 | -11% | -11% | -11% | -11% | -11% | |
| | Subtotaal Dijkbekleding | Basisvariant (BV) | K€ | DB-Tot-1 | 207934 | 1039508 | 2272484 | 3446683 | 4293683 |
| | | % KF totaal | DB-Tot-2 | 4% | 11% | 15% | 17% | 16% | |
| | DB Hoog Totaal | % verschil BV | DB-Tot-3 | 101% | 106% | 59% | 29% | 20% | |
| | DB Laag Totaal | % verschil BV | DB-Tot-4 | -74% | -55% | -36% | -26% | -19% | |
| Kunstwerken (KW) | Kust&Estuaria | Basisvariant (BV) | K€ | KW-K-1 | 50244 | 75894 | 155215 | 251594 | 428090 |
| | | | % KW totaal | KW-K-2 | 20% | 21% | 20% | 20% | 22% |
| | | | % KF totaal | KW-K-3 | 1% | 1% | 1% | 1% | 2% |
| | | KW Hoog K | KW-K-4 | 50% | 56% | 76% | 121% | 107% | |
| | | KW Laag K | KW-K-5 | -33% | -33% | -35% | -40% | -47% | |
| | Meer | Basisvariant (BV) | K€ | KW-M-1 | 50374 | 74681 | 145850 | 284089 | 455606 |
| | | | % KW totaal | KW-M-2 | 20% | 21% | 19% | 22% | 24% |
| | | | % KF totaal | KW-M-3 | 1% | 1% | 1% | 1% | 2% |
| | | KW Hoog M | KW-M-4 | 50% | 58% | 105% | 119% | 108% | |
| | | KW Laag M | KW-M-5 | -33% | -33% | -35% | -42% | -49% | |
| | Rivier | Basisvariant (BV) | K€ | KW-R-1 | 146980 | 206279 | 469260 | 740494 | 1048697 |
| | | | % KW totaal | KW-R-2 | 59% | 58% | 61% | 58% | 54% |
| | | | % KF totaal | KW-R-3 | 3% | 2% | 3% | 4% | 4% |
| | | KW Hoog R | KW-R-4 | 50% | 75% | 84% | 94% | 85% | |
| | | KW Laag R | KW-R-5 | -33% | -33% | -38% | -41% | -45% | |
| | Subtotaal Kunstwerken | Basisvariant (BV) | K€ | KW-Tot-1 | 247597 | 356853 | 770325 | 1276177 | 1932393 |
| | | % KF totaal | KW-Tot-2 | 4% | 4% | 5% | 6% | 7% | |
| | KW Hoog Totaal | % verschil BV | KW-Tot-3 | 50% | 68% | 87% | 105% | 95% | |
| | KW Laag Totaal | % verschil BV | KW-Tot-4 | -33% | -33% | -37% | -41% | -46% | |
| Totaal | Kust&Estuaria | Basisvariant (BV) | K€ | Tot-K-1 | 1177484 | 2605405 | 4691496 | 6754058 | 8622442 |
| | | | % KF totaal | Tot-K-2 | 20% | 28% | 31% | 33% | 33% |
| | | Totaal Hoog K | Tot-K-3 | 40% | 55% | 41% | 31% | 27% | |
| | | Totaal Laag L | Tot-K-4 | -23% | -27% | -22% | -19% | -16% | |
| | Meer | Basisvariant (BV) | K€ | Tot-M-1 | 901559 | 1432131 | 2354655 | 3357800 | 4437435 |
| | | | % KF totaal | Tot-M-2 | 15% | 15% | 16% | 16% | 17% |
| | | Totaal Hoog M | Tot-M-3 | 35% | 49% | 53% | 51% | 49% | |
| | | Totaal Laag M | Tot-M-4 | -16% | -19% | -17% | -17% | -17% | |
| | Rivier | Basisvariant (BV) | K€ | Tot-R-1 | 3773495 | 5388204 | 7871537 | 10482259 | 13282169 |
| | | | % KF totaal | Tot-R-2 | 64% | 57% | 53% | 51% | 50% |
| | | Totaal Hoog R | Tot-R-3 | 33% | 47% | 54% | 59% | 59% | |
| | | Totaal Laag R | Tot-R-4 | -13% | -13% | -13% | -14% | -14% | |
| | Totaal Generaal | Basisvariant (BV) | K€ | Tot-Tot-1 | 5852538 | 9425740 | 14917687 | 20594117 | 26342045 |
| | | | % verschil BV | Tot-Tot-2 | 35% | 49% | 50% | 49% | 47% |
| | | Totaal Hoog | % verschil BV | Tot-Tot-3 | -15% | -18% | -17% | -16% | -15% |

Tabel 8.11 Overzicht kosten Basisvariant en effecten hoge en lage kostenvariant

In horizontale zin worden de resultaten steeds weergegeven als (sub)totaal voor de betreffende dijkvakken voor de rekenstappen 1, 5, 10, 15 en 20 zodat enig inzicht ontstaat in de variatie van kosten en kostenverschillen over de dH-as van de kostenfuncties. Hierbij moet worden bedacht dat de kostenfuncties per dijkkringtraject op grond van de hydraulische belastingkenmerken (decimeringshoogten van kruin- en waterstandsverhoging) elk hun eigen 'schaling' kennen zodat de optelling van kosten over (clusters van) dijkvakken per rekenstap geen feitelijke fysische betekenis heeft. In kolom 5 van Tabel 8.11 is voor elke rij een rij-identificatie gegeven.

8.6.6 Kosten Basisvariant en effecten hoge en lage kostenvariant

Kostenverdeling Basisvariant

De absolute en procentuele kostenverdeling van de Basisvariant over de onderdelen dijkversterking, dijkbekleding en kunstwerken is gegeven in de rijen DV-Tot1/2, DBTot1/2 en KWTot1/2. Daaruit is te zien dat het aandeel van dijkversterking dominant is in de totale kosten (van 92% tot 76% over het verloop van de kostenfunctie). De aandelen van dijkbekleding en kunstwerken bewegen zich tussen 4% en 16%, resp. 4% en 7%.

Binnen de typen keringen/maatregelen is het aandeel van de hoofdsystemen Kust&Estuaria, Meer en Rivier zeer verschillend. Bij dijkversterking overheerst het aandeel Rivier (rij DV-R-2: 67% tot 60%). De aandelen van Kust&Estuaria en Meer zijn resp. 18% tot 24% (rij DV-K-2) en 15% (rij DV-M-2). Bij dijkbekleding domineert het kostenaandeel van Kust&Estuaria met 81%-77% (rij DB-K-2). Het aandeel Meer is 17%-20% (rij DB-M-2). Het aandeel Rivier is binnen de gekozen uitgangspunten vrijwel verwaarloosbaar (orde 2% - rij DB-R-2). Wat betreft de kunstwerken heeft Rivier wederom het grootste aandeel met 59% - 54% (rij KW-R-2). De aandelen van Kust&Estuaria en Meer zitten beide in de orde van 20% (rijen KW-K-2 en KW-M-2).

Dit leidt tot ook tot een totaal beeld met een dominant aandeel voor het systeem Rivier van 64% tot 50% (rij Tot-R-2). Het aandeel van Kust&Estuaria verloopt van 20% tot 33% (rij Tot-K-2). Het aandeel Meer is 15%-17% (rij Tot-M-2).

Effecten hoge en lage kostenvariant

Voor dijkversterking worden voor de hoge kostenvariant de grootste effecten gevonden voor het systeem Rivier (rij DV-R-4: 33% - 58%). De effecten voor Meer zijn iets kleiner (rij DV-M-4: 31% - 46%). De effecten voor Kust&Estuaria zijn kleiner en gelijkmatiger (rij DV-K-4: orde 28%). De verschillen volgen o.a. uit het feit dat voor Kust&Estuaria de effecten van ongunstige bodemscenario's (RRD-analyse) niet van toepassing zijn. Het totale effect van de hoge kostenvariant komt uit op 32% - 48% (rij DV-Tot-3). Het effect van de lage kostenvariant is in dit geval uitsluitend ingegeven door het aannemen van een gunstiger opslagfactor hetgeen voor alle systemen leidt tot een gelijkmatig effect in de orde van -12%.

Voor dijkbekleding is bij de hoge kostenvariant voor zowel Kust&Estuaria en Meer sprake van grote verschillen van een vergelijkbare relatieve omvang (resp. rij DB-K-4: 102% - 18% en rij DB-M-4: 110% - 28%). Opvallend is het uitdempen van het effect met het toenemend aantal rekenstappen. Dit als gevolg van de aannemen over het omgaan met dH reserve in relatie tot noodzaak en omvang versterkingsmaatregelen die vooral leiden tot het eerder introduceren van relatief hoge kosten. Voor het systeem Rivier geldt alleen een constant effect van het verhogen van de opslagfactor van 11% (rij DB-R-4). Het totale effect van de hoge kostenvariant komt uit op 101% - 20% (rij DB-Tot-3). Het effect van de lage kostenvariant laat

voor de systemen Kust&Estuaria en Meer tegengestelde en minder omvangrijke effecten zien (resp. rij DB-K-5: -77% tot -19% en rij DB-M-4: -68% tot -22%). Het effect voor het systeem Rivier is -11% (rij DB-5-R). Dit leidt tot een totaal effect van de lage kostenvariant van -74% tot -19% (rij DB-Tot-4).

Het plaatje voor de hoge kostenvariant voor kunstwerken is voor de verschillende hoofdsystemen redelijk gelijkvormig: Kust&Estuaria: 50%-107% (rij KW-K-4); Meer: 50%-108% (rij KW-M-4); en Rivier: 50%-85% (rij KW-R-4), leidend tot een totaal effect van 50%-95% (rij KW-Tot-3). In tegenstelling tot bij dijkbekleding nemen hier de effecten met toenemende rekenstap juist toe omdat de gevolgen van de onzekerheden in het dH-punt waarbij vervanging van het kunstwerk noodzakelijk is zich vooral in het tweede deel van de kostenfuncties doen gevoelen. De effecten van de lage kostenvariant zijn tegengesteld en minder groot: Kust&Estuaria: -33% tot -47% (rij KW-K-5); Meer: -33% tot -49% (rij KW-M-5); Rivier: -33% tot -45% (rij KW-R-5); en een totaal effect van -33% tot -46% (rij KW-Tot-4).

Voor het systeem Kust&Estuaria is het resulterende plaatje voor de hoge kostenvariant: 40%-27% (rij Tot-K-3) en voor de lage variant: -23% tot -16% (rij Tot-K-4). Voor het systeem Meer gelden voor de hoge variant de waarden: 35%-49% (rij Tot-M-3) en voor de lage variant: -16% tot -17% (rij Tot-M-4). Voor het systeem Rivier zijn dit voor de hoge variant: 33%-59% (rij Tot-R-3) en voor de lage variant: -13% tot -14% (rij Tot-R-4).

Het totale effect van de hoge variant t.o.v. de Basisvariant is 35%-47%. Voor de rekenstappen 5 t/m 20 is dit vrijwel constant in de orde van +50%. Het totale effect van de lage variant t.o.v. de Basisvariant is min of meer constant in de orde van -15% tot -18%.

Te zien is dat het relatief grote effect van de onzekerheden voor de kunstwerken (in de hoge variant leidend tot kostenverhogingen van orde 100%) gezien vanuit het totale kostenplaatje sterk zijn gedempt door het relatief geringe aandeel van de kosten voor de aanpassing van kunstwerken op het totaal.

8.7 Landelijke bandbreedtes rond basisvariant ten behoeve van Monte Carlo Analyse

Op grond van de verkregen inzichten in de effecten van onzekerheden zoals beschreven in paragraaf 8.6 zijn rond de Basisvariant twee alternatieve sets van kostencurven afgeleid die als een realistische hoge en lage variant kunnen worden beschouwd. In het bovenstaande is getracht om een inzicht te geven in de bijdragen van verschillende typen keringen/maatregelen en deelsystemen aan de totale kosten zoals die zijn bepaald voor de Basisvariant. Tegen deze achtergrond is ook een beeld geschetst van de invloeden van de onzekerheden op de kostenfuncties zoals die in de hoge en lage variant tot uitdrukking zijn gebracht.

Gezien de variaties die van toepassing zijn binnen de afzonderlijk beschouwde kostenfuncties per dijkvak en dijkkringtraject kunnen aan de verschaftte informatie op dit geaggregeerd niveau echter geen directe inzichten worden ontleend betreffende de mogelijke effecten op de per dijkkring vast te stellen optimale beschermingsniveaus. Om hier iets over te kunnen zeggen is het noodzakelijk om uit te gaan van de specifieke effecten op de afzonderlijke kostenfuncties zoals die uiteindelijk in de optimalisatie per dijkkring worden gehanteerd.

Binnen de MKBA wordt een Monte Carlo Analyse uitgevoerd om per dijkkring(deel) de bandbreedtes rond de berekende optimale overstromingskans af te leiden. Hiertoe wordt niet

gewerkt met OptimaliseRing (omwille van de rekentijd), maar wordt gewerkt met een vereenvoudigd spreadsheetmodel. Dit model vereist qua kosten invoer op het niveau van een dijkkringdeel. De kostenfuncties voor de lage en hoge variant zijn in principe afgeleid en beschikbaar op dijkvakniveau. In onderstaande Tabel 8.12 is dit geaggregeerd tot dijkkringdeelniveau. Omdat de bandbreedte is opgebouwd uit meerdere componenten, zoals beschreven in de voorgaande paragrafen, zal de bandbreedte theoretisch per verhogingsstap verschillen. Ten behoeve van de Monte Carlo Analyse is deze vastgesteld bij een verhogingsstap van één decimeringshoogte.

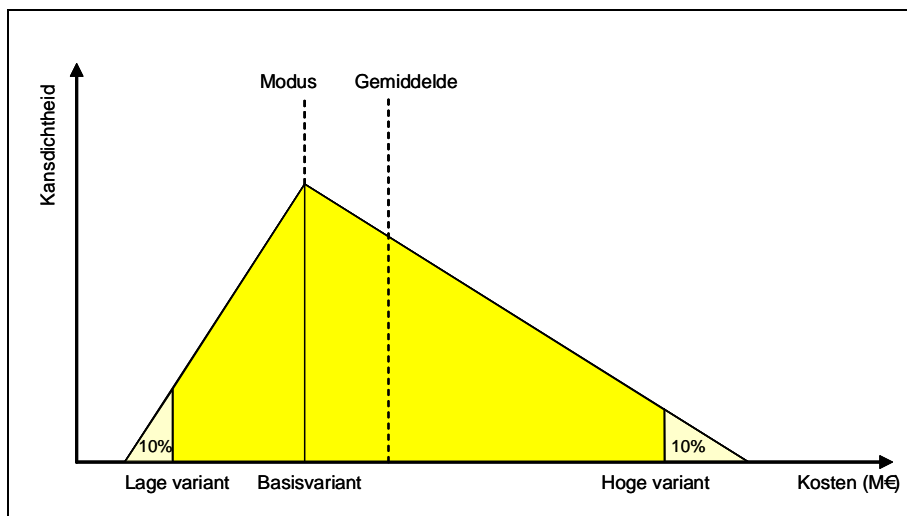
| Dijkkring- deel | Lengte (km) | Bandbreedte kosten per dijkkringdeel (M€) bij verhoging 1 decimeringshoogte | | | Index Laag | Index Hoog |
|--------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|------------|------------|
| | | Laag | Basis | Hoog | | |
| 1-1 | 3,93 | 11,37 | 16,04 | 24,62 | 71 | 153 |
| 2-1 | 16,59 | 41,81 | 62,39 | 105,44 | 67 | 169 |
| 3-1 | 14,00 | 28,41 | 43,27 | 73,55 | 66 | 170 |
| 4-1 | 1,34 | 4,66 | 6,08 | 9,91 | 77 | 163 |
| 5-1 | 26,09 | 53,54 | 78,78 | 132,31 | 68 | 168 |
| 6-1 | 11,65 | 53,85 | 71,74 | 111,12 | 75 | 155 |
| 6-2 | 84,83 | 395,07 | 526,60 | 791,89 | 75 | 150 |
| 6-3 | 72,47 | 220,21 | 309,33 | 557,15 | 71 | 180 |
| 6-4 | 61,66 | 92,86 | 120,25 | 196,49 | 77 | 163 |
| 7-1 | 55,77 | 137,30 | 168,69 | 283,34 | 81 | 168 |
| 8-1 | 40,33 | 146,00 | 178,95 | 270,20 | 82 | 151 |
| 8-2 | 54,54 | 167,26 | 200,90 | 275,27 | 83 | 137 |
| 9-1 | 42,73 | 71,70 | 85,74 | 126,27 | 84 | 147 |
| 10-1 | 47,72 | 96,83 | 112,56 | 159,15 | 86 | 141 |
| 11-1 | 32,88 | 145,81 | 171,64 | 244,23 | 85 | 142 |
| 12-1 | 32,30 | 64,14 | 87,83 | 147,85 | 73 | 168 |
| 13-1 | 26,35 | 160,23 | 204,92 | 311,01 | 78 | 152 |
| 13-2 | 56,35 | 204,15 | 242,21 | 381,86 | 84 | 158 |
| 13-4 | 40,03 | 202,36 | 235,96 | 364,23 | 86 | 154 |
| 13a-1 | 12,84 | 13,22 | 15,99 | 26,86 | 83 | 168 |
| 13b-1 | 8,63 | 19,45 | 22,49 | 34,86 | 86 | 155 |
| 14-1 | 13,17 | 271,62 | 312,87 | 362,30 | 87 | 116 |
| 14-2 | 4,59 | 29,28 | 33,27 | 51,30 | 88 | 154 |
| 14-3 | 36,17 | 322,21 | 374,62 | 608,22 | 86 | 162 |
| 15-1 | 47,62 | 299,90 | 338,13 | 500,53 | 89 | 148 |
| 16-1 | 86,23 | 596,43 | 678,72 | 972,13 | 88 | 143 |
| 17-1 | 62,18 | 167,23 | 191,47 | 325,81 | 87 | 170 |
| 18-1 | 5,24 | 42,50 | 48,32 | 71,36 | 88 | 148 |
| 19-1 | 8,13 | 72,76 | 83,53 | 115,43 | 87 | 138 |
| 20-1 | 20,83 | 86,90 | 98,51 | 185,30 | 88 | 188 |
| 20-2 | 16,09 | 35,80 | 40,79 | 70,30 | 88 | 172 |
| 20-3 | 18,89 | 40,52 | 47,21 | 88,17 | 86 | 187 |
| 21-1 | 69,37 | 147,00 | 168,98 | 291,36 | 87 | 172 |
| 22-1 | 37,05 | 213,24 | 243,75 | 375,26 | 87 | 154 |
| 24-1 | 46,32 | 138,66 | 158,84 | 229,02 | 87 | 144 |
| 25-1 | 3,09 | 25,19 | 31,30 | 46,36 | 80 | 148 |
| 25-2 | 26,80 | 30,74 | 35,96 | 57,13 | 85 | 159 |
| 26-1 | 9,02 | 16,87 | 22,92 | 35,39 | 74 | 154 |
| 26-2 | 34,15 | 38,20 | 53,95 | 87,35 | 71 | 162 |
| 27-1 | 52,71 | 44,26 | 70,47 | 126,48 | 63 | 179 |
| 28-1 | 23,78 | 19,69 | 33,05 | 61,67 | 60 | 187 |
| 29-1 | 5,94 | 54,55 | 67,59 | 102,46 | 81 | 152 |
| 29-2 | 20,84 | 128,40 | 167,47 | 262,99 | 77 | 157 |
| 30-1 | 62,45 | 209,89 | 288,25 | 453,28 | 73 | 157 |
| 31-1 | 48,61 | 164,30 | 217,26 | 340,12 | 76 | 157 |
| 32-1 | 33,57 | 191,34 | 246,10 | 386,64 | 78 | 157 |
| 32-2 | 44,62 | 360,46 | 450,16 | 650,92 | 80 | 145 |
| 34-1 | 47,29 | 105,17 | 121,19 | 193,45 | 87 | 160 |
| 34a-1 | 9,94 | 27,58 | 31,43 | 52,76 | 88 | 168 |

| Dijkring-deel | Lengte (km) | Bandbreedte kosten per dijkringdeel (M€) bij verhoging 1 decimeringshoogte | | | Index Laag | Index Hoog |
|---------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| | | Laag | Basis | Hoog | | |
| 35-1 | 28,53 | 68,03 | 77,81 | 133,20 | 87 | 171 |
| 36-1 | 104,52 | 186,57 | 216,78 | 335,54 | 86 | 155 |
| 36a-1 | 4,40 | 5,88 | 6,83 | 9,93 | 86 | 145 |
| 37-1 | 1,36 | 3,51 | 3,99 | 5,64 | 88 | 141 |
| 38-1 | 29,58 | 118,14 | 135,77 | 190,43 | 87 | 140 |
| 38-2 | 20,21 | 73,14 | 83,57 | 118,40 | 88 | 142 |
| 39-1 | 4,75 | 14,36 | 16,36 | 25,21 | 88 | 154 |
| 40-1 | 6,38 | 23,99 | 28,21 | 43,78 | 85 | 155 |
| 40-2 | 5,28 | 8,49 | 9,68 | 12,53 | 88 | 129 |
| 41-1 | 41,66 | 148,50 | 170,80 | 249,00 | 87 | 146 |
| 41-2 | 48,19 | 147,45 | 169,05 | 236,42 | 87 | 140 |
| 42-1 | 17,43 | 56,84 | 65,09 | 87,68 | 87 | 135 |
| 43-1 | 170,48 | 514,70 | 592,61 | 800,75 | 87 | 135 |
| 44-1 | 32,48 | 72,34 | 85,24 | 133,06 | 85 | 156 |
| 44-2 | 23,59 | 45,19 | 55,94 | 89,53 | 81 | 160 |
| 45-1 | 5,35 | 9,64 | 11,07 | 15,81 | 87 | 143 |
| 45-2 | 27,83 | 57,71 | 71,84 | 109,44 | 80 | 152 |
| 46-1 | 8,40 | 32,59 | 38,06 | 52,02 | 86 | 137 |
| 47-1 | 15,12 | 82,39 | 94,47 | 134,72 | 87 | 143 |
| 48-1 | 17,59 | 47,97 | 54,86 | 76,01 | 87 | 139 |
| 48-2 | 35,78 | 72,26 | 82,73 | 108,04 | 87 | 131 |
| 49-1 | 33,70 | 72,04 | 82,55 | 120,49 | 87 | 146 |
| 50-1 | 12,97 | 27,26 | 31,79 | 45,26 | 86 | 142 |
| 51-1 | 23,56 | 32,32 | 37,17 | 46,29 | 87 | 125 |
| 52-1 | 63,28 | 151,49 | 174,03 | 234,06 | 87 | 134 |
| 53-1 | 78,49 | 144,02 | 167,23 | 240,23 | 86 | 144 |
| 65-1 | 5,13 | 12,26 | 15,13 | 23,76 | 81 | 157 |
| 68dgr-1 | 6,78 | 9,19 | 10,29 | 17,67 | 89 | 172 |
| 68rvg-1 | 8,25 | 33,94 | 41,82 | 61,47 | 81 | 147 |
| 86-1 | 1,52 | 2,49 | 2,94 | 4,86 | 85 | 165 |
| 87-1 | 5,48 | 10,76 | 12,93 | 20,77 | 83 | 161 |
| Totaal | 2525,81 | 8496,39 | 10265,14 | 15513,10 | 83 | 151 |

Tabel 8.12 Bandbreedte kostenschattingen basisvariant

Voor de Monte Carlo Analyse dient eveneens een verdelingstype te worden opgegeven waaraan de kostenschattingen met de afgeleide bandbreedtes voldoen. In een expertsessie en een nader intern overleg binnen de Waterdienst is besloten de verdeling te schematiseren tot een scheve driehoeksverdeling. Op het niveau van een dijkring(deel) wordt daarmee voldoende recht gedaan aan de variatie in de kosten. De basisraming is hierbij niet het gemiddelde van de verdeling, maar ligt op de top van de (scheve) kansverdeling. Het is daarmee de meest waarschijnlijke raming. Dit is echter puur gebaseerd op expert judgement want dit is bij de aanlevering van de eenheidsprijzen niet expliciet vermeld.

Echte extremen zijn in de driehoeksverdeling niet terug te vinden, omdat wordt verwacht dat deze slechts op zeer locale plekken zullen voorkomen. Doordat we in deze analyse enkel de over het algemeen grotere dijkringdelen beschouwen, zullen deze locale uitschieters in de beschouwing van het gehele dijkringdeel afgevlakt worden. Zoals beredeneerd in paragraaf 8.6.4 is er aan beide zijden van de hoge en lage variant nog een beperkte kansruimte aanwezig van 10%. De verdeling zoals deze is vastgesteld, is weergegeven in Figuur 8.1.



Figuur 8.1 Gehanteerde scheve driehoeksverdeling tbv Monte Carlo Analyse

De resultaten van de Monte Carlo Analyse waarbij gebruik is gemaakt van bovenstaande kostencijfers en driehoeksverdeling is te vinden in de rapportage Kind, 2011.

9 Validatie kostenramingen

9.1 Beschouwing ramingen in literatuur

In diverse recente landelijke studies worden globale kostenschattingen gebruikt voor de versterking van waterkeringen. Om de binnen WV21 berekende kostenfuncties op waarde te kunnen schatten is een vergelijking gemaakt met de getallen die in deze studies worden gehanteerd. Hiervoor is het vereist om nauwkeurig de uitgangspunten te bekijken die in de ramingen zijn gebruikt, zodat het zeker is dat de juiste getallen met elkaar worden vergeleken.

9.1.1 Deltacommissie en Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen

In de rapportage van de Deltacommissie (2008) komt de commissie tot het oordeel om de overstromingskansen voor alle dijkeringen (de aangepaste norm voor waterveiligheid) ten opzichte van de huidige normen minimaal met een factor 10 te verminderen en dus het beschermingsniveau met een factor 10 te verhogen. Deze huidige normen worden hierbij door de commissie geïnterpreteerd als overstromingskansen. Voor het kostenplaatje dat hierbij hoort wordt teruggegrepen op de rapportage 'Tussensprint naar 2015' opgesteld door de Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen.

In dit rapport wordt gesteld dat deze verbetering van de veiligheid met een factor 10 een investering van circa 9 miljard euro vereist (prijspeil 2005). In bijlage 4b van de rapportage wordt hiervoor de volgende onderbouwing en achtergrond gegeven:

- Keringen zijn in 2015 op orde en voldoen op dat moment aan de normen zoals deze nu in de wet op de waterkering staan.
- Om te blijven voldoen aan de huidige wettige norm hebben keringen tot 2050 geen verdere verzwaring nodig, anders was dit meegenomen in de versterkingsronde voor 2015.
- Alleen keringen rond dijkeringen die een relatief hoge te beschermen waarde hebben, en die tegen het buitenwater door niet al te lange dijken beschermd worden komen in een eerste ronde in aanmerking voor een verzwaring uit overweging van economische optimalisatie van risico's. De verwachting is dat in 2015 voor maximaal een derde van de 3600 km primaire keringen een dergelijke verdere verhoging nodig is, dus voor 1200 km.
- Eenheidsprijzen voor de versterking van een kilometer dijk worden ontleend aan de rapportages van het CPB (Eigenraam) opgesteld in het kader van Ruimte voor de Rivier. Hierin is te vinden dat een verhoging van een rivierdijk met een meter in het bovenrivierengebied 2-7 miljoen euro per kilometer kost. In het benedenrivierengebied komt dit op 4-13 miljoen per km.
- Voor een reductie van de overstromingskans met een factor 10 wordt globaal een dijkverhoging van 75 cm verondersteld. Hierbij wordt een prijs verwacht van 4 – 10 miljoen euro per km, eveneens ontleend aan de gegevens van het CPB.
- Voor 1200 km dijkversterking is naar verwachting 4,8 – 12 miljard euro nodig, de gemiddelde verwachting daarbij aangegeven is 9 miljard euro. Dit is de schatting die overgenomen is in de rapportage van de Deltacommissie. Hoe deze 9 miljard euro exact is bepaald blijkt niet uit de rapportage.

9.1.2 Centraal Plan Bureau (CPB) – Ruimte voor de Rivier

Voor een check op de gebruikte gegevens in de rapportage van de Deltacommissie en de Adviescommissie Primaire Waterkeringen wordt teruggegrepen op de rapportages van het CPB opgesteld ten behoeve van Ruimte voor de Rivier. Hierin is de volgende tabel weergegeven, met de daarin de investeringskosten van dijkverhoging per km voor een aantal verhogingsstappen (prijspeil 2003, exclusief BTW).

| Nr. | Naam | Lengte (km) | Investeringskosten dijkverhoging (M€/km) | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------------------------|-------|--------|
| | | | 50 cm | 75 cm | 100 cm |
| Bovenrivieren | | | | | |
| 38 | Bommelerwaard | 28,0 | 2,2 | 2,9 | 4,0 |
| 40 | Heerewaarden | 4,0 | 2,5 | 3,2 | 4,4 |
| 41 | Land van Maas en Waal | 37,0 | 2,8 | 3,7 | 4,8 |
| 42 | Ooij en Millingen | 18,5 | 2,2 | 2,8 | 3,7 |
| 43 | Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaard | 171,9 | 3,5 | 4,6 | 5,9 |
| 44 | Kromme Rijn | 29,2 | 2,4 | 3,5 | 4,6 |
| 45 | Gelderse Vallei | 5,5 | 1,2 | 2,0 | 3,2 |
| 47 | Arnhemse en Velperbroek | 14,1 | 1,2 | 1,7 | 2,2 |
| 48 | Rijn en IJssel | 57,0 | 1,2 | 1,8 | 3,0 |
| 49 | IJsselland | 32,0 | 1,6 | 2,3 | 3,3 |
| 50 | Zutphen | 13,0 | 1,2 | 1,6 | 2,1 |
| 51 | Gorssel | 24,0 | 1,3 | 2,1 | 3,5 |
| 52 | Oost Veluwe | 68,8 | 2,2 | 3,0 | 4,1 |
| 53 | Salland | 42,0 | 2,6 | 3,4 | 4,5 |
| 10 | Mastenbroek | 14,5 | 2,8 | 4,0 | 5,0 |
| 11 | IJsseldelta | 25,0 | 4,3 | 5,5 | 7,0 |
| Benedenrivieren | | | | | |
| 15 | Lopiker- en Krimpenerwaard | 45,1 | 6,8 | 8,9 | 11,1 |
| 16 | Alblasserwaard en Vijfheerenlanden | 85,2 | 8,5 | 11,0 | 13,3 |
| 22 | Eiland van Dordrecht | 37,3 | 6,6 | 8,4 | 10,2 |
| 23 | Biesbosch (Noordwaard) | 21,0 | 2,5 | 3,2 | 4,3 |
| 24 | Land van Altena | 43,0 | 3,5 | 4,7 | 6,1 |
| 35 | Donge | 27,6 | 4,7 | 6,4 | 7,9 |

Tabel 9.1 Kostenschattingen CPB Ruimte voor de Rivier

De eenheidsprijzen voor 1 meter dijkverhoging, zoals gebruikt in de rapportage van de Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, voor het bovenriviereengebied 2-7 M€/km en het benedenriviereengebied 4-13 M€/km zijn terug te vinden in deze tabel. Niet exact duidelijk is uit de rapportage hoe de gehanteerde eenheidsprijzen voor een verhoging van 75 cm tot stand zijn gekomen. Deze getallen lijken op basis van de tabellen van het CPB enigszins aan de hoge kant, echter hier is enkel het riviereengebied meegenomen, en zijn de kust, de estuaria en de meren niet beschouwd.

In ieder geval lijken beide studies uit te gaan van een ander prijspeil (2003 versus 2005). Dit verschil kan verrekend worden door de prijzen van het CPB met een factor 1,0816 (=1,04²) te verhogen, wanneer uitgegaan wordt van een inflatie van 4%. Tevens kan aangevoerd worden dat in de CPB studie, analoog aan voorliggende studie de raming van de meest waarschijnlijke kosten is gebruikt, in tegenstelling tot de gemiddelde kosten. Dit fenomeen is beschreven in paragraaf 8.7 van dit rapport. Hierdoor kan op de CPB cijfers nog een

zogenaamde correctie voor scheefstand te worden toegepast. Deze verhoging bedraagt naar schatting ongeveer een factor 1,2.

De ramingen gebruikt door het CPB in de studie Ruimte voor de Rivier, zoals gepresenteerd in Tabel 9.1 zijn ontleend aan het consortium ARF (Arcadis, Royal Haskoning en Fugro) dat in het kader van Ruimte voor de Rivier de ramingen heeft opgesteld.

9.1.3 Ramingen consortium ARF

Voor de ramingen van het consortium ARF geldt dat zij zijn uitgegaan van het prijspeil 2003 en dat kosten zijn geraamd exclusief BTW. Bij het opstellen van de kostenfuncties is daarbij uitgegaan van zogenaamde sturende en volgende dijkringen.

Bij de sturende dijkringen is op gedetailleerde wijze beschouwd op welk deel van de dijkkring welke maatregel van toepassing zou zijn bij een bepaalde verhogingsstap. Hierbij is ook rekening gehouden met de aanwezige overhoogte binnen een dijkkring, waardoor op delen van de dijkkring pas bij een grotere verhoging kosten gemaakt hoeven te worden. Vervolgens zijn aan alle afzonderlijke binnen een dijkkring onderscheiden delen per verhogingsstap vaste kostenschattingen gehanteerd, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Met behulp van gegevens over ligging van de dijkringen (boven-/benedenrivieren), mate van bebouwing en evt aanwezige oversterkte op de beschouwde dijkvakken zijn de gegevens vervolgens landelijk geëxtrapoleerd in het gebied waar het RVR-programma van toepassing is.

| Type | Omschrijving | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|---------|------|-------------|
| A1 | Ophoging van groene dijk, geen bebouwing, wegen, o.i.d. | 0,5 | M€/km | 2,25 | M€/km /m dh |
| A2 | Ophoging van dijk met weg | 1,0 | M€/km | 2,25 | M€/km /m dh |
| B1 | Kistdam | 1,0 | M€/km | 4,0 | M€/km /m dh |
| B3 | Damwand | 0,5 | M€/km | 2,0 | M€/km /m dh |
| C | Special (beweegbare kering) | 14,0 | M€/km | 25 | M€/km /m dh |
| C2 | Special (geheel vernieuwen kunstwerken) | 25,0 | M€/stuk | | |
| * exclusief de 'factor' op de kosten die op basis van de lokale omstandigheden is toegekend; deze factor varieert van circa 1 tot 2 | | | | | |

Tabel 9.2 Eenheidsprijzen ARF

Zie voor meer achtergronden over de gemaakte raming de rapportage ARF (2004).

9.1.4 Overige beschouwingen

Er zijn meer landelijk georiënteerde studies verschenen in de afgelopen jaren waarin kostenschattingen voor het versterken van keringen zijn gedaan. Een van de beschouwde rapportages waarin ramingen voorkomen is het project Aandacht Voor Veiligheid (AVV), meer specifiek, de daarin beschreven case Business as Usual. De ramingen die hier zijn afgeleid zijn gebruikt in de Kentallen Kosten-Baten Analyse van WV21 die in 2009 is verschenen.

Voor het rivierengebied gaat deze studie eveneens uit van de gegevens van het CPB Ruimte voor de Rivier. Voor het meren en kustgebied zijn aanvullende studies gebruikt. Voor meren is teruggegrepen op de zogenaamde WINBOS studie naar het natte hart (RIZA, 2001), voor kust is een beschouwing gemaakt door Arcadis en Fugro in opdracht van de DWW (2006).

Voor een eerste validatie van de afgeleide kostenfuncties binnen WV21 wordt in de volgende paragraaf een vergelijking gemaakt met de gegevens van ARF, omdat deze gegevens aan veel studies en gebieden ten grondslag liggen. In een later stadium wordt geadviseerd het WV21 instrumentarium verder te valideren aan de hand van het narekenen van werkelijk uitgevoerde projecten in het kader van het Hoogwater beschermings programma (HWBP).

9.2 Vergelijking WV21 – ARF

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf zijn door consortium ARF kosten afgeleid voor een aantal zgn. sturende dijkkringen in het rivierengebied. Dit zijn dijkkring 10, 22, 43, 44, 47 en 50. Het ligt voor de hand om in de vergelijking met de ramingen van WV21 voornamelijk op deze dijkkringen te focussen, omdat de rest van de afgeleide kostenramingen in het rivierengebied door ARF is bepaald op basis van extrapolatie en daarmee per definitie onnauwkeuriger is. Voor de volledigheid is de vergelijking op basis van alle binnen Ruimte voor de Rivier beschouwde dijkkringen eveneens gemaakt, maar hieraan wordt minder waarde gehecht. De conclusies komen overigens nagenoeg overeen.

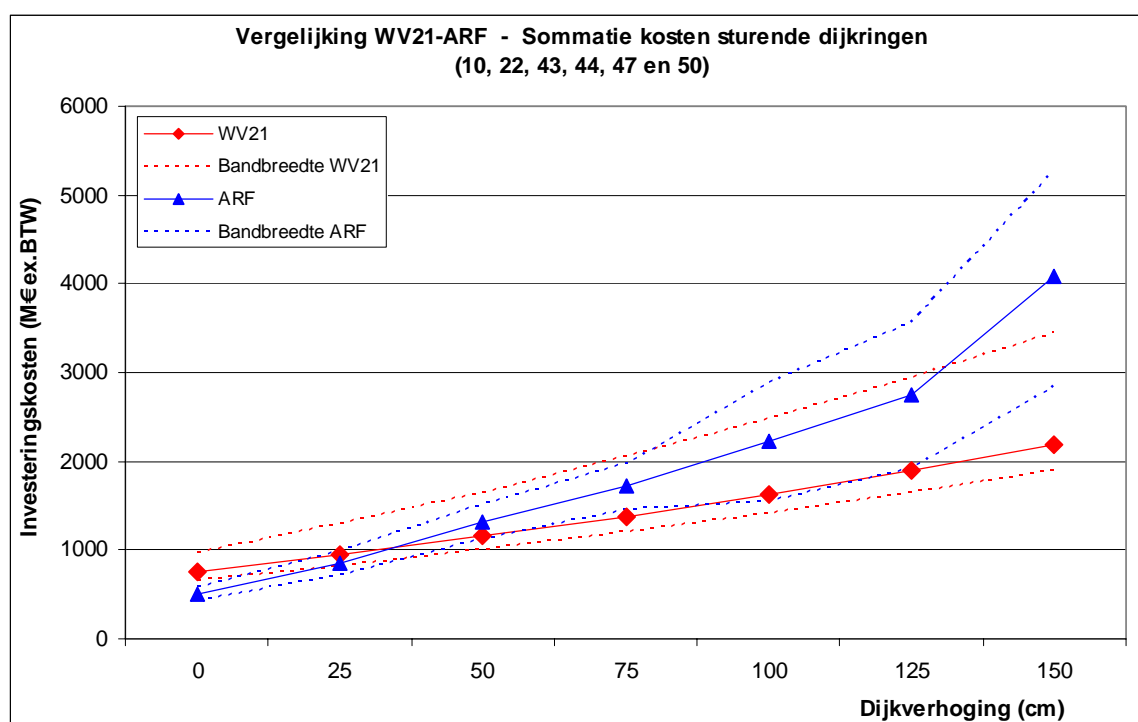
Om de vergelijking in kostenramingen tussen de beide studies, ARF en WV21 te kunnen maken dienen er enkele aanpassingen in de gegevens gemaakt te worden, zodat de uitgangspunten gehanteerd bij de ramingen 1-op-1 op elkaar passen, en dus een zinvolle vergelijking gemaakt kan worden. Het gehanteerde dijkprofiel in de uitgangssituatie wordt daarbij niet beschouwd, omdat de kosten voornamelijk bepaald worden door een relatieve toename van de kruinhoogte, en minder afhankelijk zijn van de kruinhoogte zelf. Binnen ARF worden de kosten zelfs helemaal onafhankelijk gemaakt van de kruinhoogte in de aanvangssituatie (zie Tabel 9.2). De aanpassingen in de ramingen van ARF en WV21 worden hieronder beschreven:

- Allereerst is binnen WV21 een selectie gemaakt van dijkkringtrajecten die overeen komen met de beschouwde dijkkringdelen binnen Ruimte voor de Rivier (RvdR). De trajecten van WV21 die in RvdR niet zijn beschouwd worden in de vergelijking geheel buiten beschouwing gelaten.
- Binnen ARF is zoals aangegeven rekening gehouden met aanwezige oversterkte op een gedeelte van de beschouwde dijkkringen, terwijl binnen WV21 uitgegaan is van een dijk op orde, zonder oversterkte. Dit levert bij ARF op een aantal plaatsen een horizontale sprong in de curve, die er bij WV21 per definitie niet is. Omdat de door ARF gehanteerde rekensheets bij Deltares beschikbaar zijn, is ervoor gekozen om deze aanname in de gegevens van ARF te corrigeren. De aanwezige oversterkte is voor de beschouwde dijkkringen in de rekensheets van ARF overal op nul gezet.
- Vervolgens is in de gegevens van ARF het prijspeil (2003) aangepast naar het prijspeil van WV21 (2009). Hiervoor zijn de samengestelde CROW index-reeksen gebruikt die beschikbaar zijn in het Prijzenbestand Kostenspoor, zie Bijlage F. Er is een prijsverhoging toegepast van 22,7%. Dit komt overeen met een correctie van 3,47% per jaar.
- Daarna zijn de trajectlengtes gehanteerd binnen ARF zodanig aangepast dat ze in overeenstemming zijn met de gehanteerde lengtes in WV21. De aanpassingen die hier gepleegd zijn, zijn minimaal (toch orde km's), de dijk lengtes in WV21 leken nauwkeuriger bepaald.

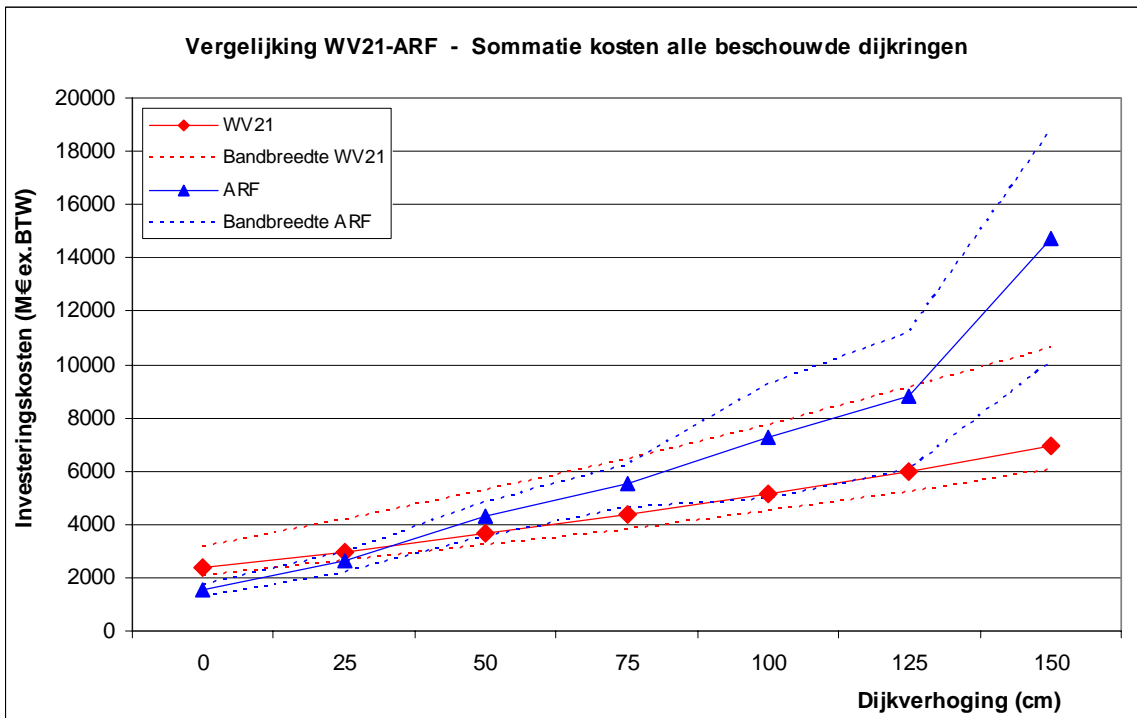
- De gegevens van ARF kunnen niet vergeleken worden met de gegevens van de basisvariant van WV21, omdat hier gerekend is met aftoppen van de maatgevende rivierafvoer in Duitsland. Binnen ARF zijn waterstand en kruinhoogte direct aan elkaar gekoppeld. Daarom zijn de gegevens vergeleken met de WV21 variant zonder aftoppen. Binnen WV21 kan het in deze variant nog steeds mogelijk zijn dat de waterstandsstijging achterblijft bij de kruinhoogtestijging waaraan de kostencurves zijn opgehangen, wat bij WV21 tot lagere kosten kan leiden dan bij ARF. Dit zal echter in het beschouwde (rivieren)gebied minder aan de orde zijn.
- Om de boven en ondergrens te kunnen bepalen van de kosten binnen deze variant zonder aftoppen zijn de bandbreedtes uit de basisvariant (dus met aftoppen, per traject) toegepast. Voor de variant zonder aftoppen is geen afzonderlijke gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de bandbreedtes te bepalen.

In Figuur 9.1 en Figuur 9.2 zijn de resultaten van de vergelijking tussen de twee studies zichtbaar gemaakt. Hierbij zijn de kosten over 7 beschouwde verhogingsstappen (0, 25, 50, 75, 100, 125 en 150 cm) gesommeerd over alle sturende dijkeringen, respectievelijk over alle binnen RvdR beschouwde dijkeringen. Rond de kosten zijn bandbreedtes aangegeven, voor WV21 zoals hierboven beschreven, voor ARF zoals aangegeven in de achtergrondrapportage. Hierin wordt uitgegaan van een onnauwkeurigheid van 15% tot 1 meter en 30% tot 2 meter waterstandsstijging

In beide figuren is te zien dat binnen WV21 gemiddeld genomen hogere vaste kosten gevonden worden dan binnen ARF. Dit heeft te maken met de aanwezigheid van infrastructuur en constructieve keringen in de uitgangssituatie. Over het algemeen vallen de variabele kosten binnen ARF iets hoger uit, waardoor op een gegeven moment de curves van ARF boven deze van WV21 komen te liggen. Tot aan een verhoging van 1,25 meter liggen de curves van ARF nog binnen de bandbreedte die voor WV21 wordt afgeleid.



Figuur 9.1 Vergelijking WV21-ARF voor de sturende dijkeringen



Figuur 9.2 Vergelijking WV21-ARF voor alle binnen Ruimte voor de Rivier beschouwde dijkringen

9.3 Conclusies

Op basis van de vergelijking met de kostenschattingen van ARF, zoals gegeven in de vorige paragraaf kan geconcludeerd worden dat de kostencurves van WV21 voor de verhogingsstappen tot ongeveer 75 cm qua ordegrrootte overeen komen met de alom geaccepteerde schattingen die gehanteerd worden in diverse landelijke studies, in ieder geval voor het rivierengebied.

De vaste kosten (met name voor infrastructuur) zijn over het algemeen hoger dan gevonden bij ARF, de variabele kosten zijn veelal lager. Hierdoor is te zien dat wanneer de verhogingsstappen groter worden, de kosten binnen WV21 achter blijven bij hetgeen eerder binnen ARF en op basis van expert judgement is bepaald. Reden hiervoor kan zijn dat binnen WV21 door de gehanteerde methode nog net dat beetje ruimte naast de dijk gebruikt wordt voor de versterking, waar in eerdere schattingen een constructieve oplossing voor de hand leek te liggen. Verwacht wordt dat binnen WV21 daarmee een minimale kostenvariant is bepaald in het kader van veiligheid.

Begrippenlijst

(Definities van begrippen veelal ontleend aan VTV, 2006)

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Achterland | Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering |
| Beheerder | Overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is |
| Belasting | Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid. |
| Benedenrivierengebied | Door Rijn en Maas gevoede rivierengebied, waarbij tijdens grote afvoergolven de waterstanden een significante invloed ondervinden van de waterstand op de Noordzee als gevolg van een zware storm. De getijhoogwaterstijging is hier van belang. |
| Bezwijken | Optreden van verlies van inwendig evenwicht (bijvoorbeeld afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bijvoorbeeld verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen. |
| Bijzondere Waterkerende Constructie | Constructie om, in combinatie met een constructie grondlichaam (dijk) of in plaats van een grondlichaam, water te keren, zoals muralt- of dijkmuur, damwanden, kistdammen, keermuren en kwelschermen. |
| Binnenberm | Extra verbreding aan de binnendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om zandmeevoerende wellen te voorkomen. |
| Binnendijks | Aan de kant van het land of het binnenwater. |
| Binnentalud | Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk. |
| Binnenteen | Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld). |
| Bovenrivierengebied | Door Rijn en Maas gevoede rivierengebied (inclusief de IJssel), waarbij de waterstanden geen significante invloed ondervinden van de waterstand op de Noordzee en het IJsselmeer als gevolg van een zware storm. De getijhoogwaterstijging speelt hier geen rol. |
| Buitenberm | Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren. |
| Buitendijks | Aan de kant van het te keren (buiten)water. |
| Buitenkruinlijn | Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud, waarlangs de toetsing op hoogte plaatsvindt. |
| Buitentalud | Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde. |

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Buitenteen | Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland). |
| Buitenwater | Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van de waterstand op zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer. |
| Coupure | Onderbreking in de waterkering voor de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge buitenwaterstanden afsluitbaar is. |
| Decimeringshoogte | Absolute verschil in hoogte tussen het Toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die een factor 10 hoger of lager is dan die van het Toetspeil. |
| Dijkbekleding | Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming egen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel. |
| Dijkkring | Het stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, dat een dijkkringgebied omsluit en beveiligd tegen overstromingen. |
| Dijkkringdeel | Deel van een dijkkring dat is onderscheiden voor de berekening van economisch optimale overstromingskansen met het oog op het feit dat de gevolgen van een overstroming afhangen van waar de waterkering doorbreekt. |
| Dijkkringtraject | Traject binnen de dijkkring (of het dijkkringdeel) waarbinnen het hydraulische regime min of meer constant verondersteld kan worden |
| Dijkvak | Deel van een dijkkringtraject met min of meer hetzelfde maatgevende dijkprofiel en uniform veronderstelde bodemeigenschappen. |
| Discontovoet | Rentevoet die bij een MKBA gebruikt wordt om de huidige (=contante) waarde te berekenen van de toekomstige kosten en opbrengsten van een project. |
| Faalmechanisme | Wijze waarop een waterkering wordt aangetast zodat dit leidt tot falen van de waterkerende functie. |
| Golfhoogte | De verticale afstand tussen dal en top van een golf. |
| Golfoverslag | De hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat. De golfoverslag wordt meestal gegeven als een gemiddeld debiet per strekkende meter, bijvoorbeeld in m ³ /s per m of in l/s per m. |
| Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) | Niveau van de belasting tegen de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven. |
| Maatschappelijke Kosten-batenanalyse | (MKBA): opstelling van de geldwaarde van alle voor- en nadelen die alle partijen in de (nationale) samenleving ondervinden van de uitvoering van een project, aangevuld met (bij voorkeur kwantitatieve) informatie over effecten die zich niet op verantwoorde wijze in geld laten uitdrukken. |

| | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kostencurve, kostenfunctie | Deze kostenfuncties beschrijven het verband tussen de toename van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) dat de kering moet kunnen weerstaan, en de investeringskosten die nodig zijn om de waterkeringen hieraan aan te passen. De kostenfuncties worden gebruikt in het model OptimaliseRing dat ten behoeve van de ondersteuning van de uitvoering van de MKBA is ontwikkeld. |
| Kruin(hoogte) Kwel | Het hoogste punt van het dijklichaam. Uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied. |
| Kwelscherm | Ondoorlatende, in de regel verticale, constructie voor verlenging van de kwelweg. |
| Lengte-effect | Dit is het effect dat er voor zorgt dat naarmate de dijk lengte toeneemt, de overstromingskans van de dijkkring (of het dijkkringdeel) toeneemt. |
| Maaskade | Primaire waterkering die deel uitmaakt van het stelsel dat een van de dijkkringgebieden 54-95 omsluit en beschermt tegen een hoge waterstand op de Limburgse Maas. |
| Maatgevend Hoogwater (MHW) | Waterstand met een overschrijdingsfrequentie behorende bij de huidige norm. |
| Macrostabieleit | Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond. |
| Opbarsten | Bezwijken van de grond, door het ontbreken van verticaal evenwicht in de grond, onder invloed van wateroverdrukken. |
| Overhoogte, oversterkte | Extra hoogte en sterkte ten opzichte van de hoogte en sterkte die waterkeringen moeten hebben om aan de wettelijke beschermingsnorm te voldoen |
| Overschrijdingskans | De kans dat de ontwerpwaterstand bereikt of overschreden wordt |
| Overstromingskans | De kans dat een gebied overstroomt doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt |
| Piping | (Ook: onderloopsheid): het verschijnsel waarbij onder een waterkering een snelle stroming ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt. |
| Primaire waterkering | Dijken, duinen en constructies (zoals sluizen en gemalen) die een gebied beschermen tegen het buitenwater, zoals vastgelegd in de Waterwet (2010). |
| Secundaire waterkering | Waterkeringen binnen een dijkkring, veelal grenzend aan regionale oppervlaktewateren, waarvoor in de Waterwet (2010) geen beschermingsnormen zijn vastgesteld. Secundaire waterkeringen worden ook wel regionale waterkeringen genoemd. |
| Stabiliteitsfactor | Factor waarin het verschil tussen sterkte en belasting wordt uitgedrukt. |
| Veiligheidsnorm | Eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - |

| | |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.</p> |
| Waterkerend kunstwerk | <p>Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve van een andere functie, die de waterkering kruist (bijvoorbeeld schutten, spuien).</p> |
| Waterkering | <p>Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.</p> |
| Zetting | <p>Verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.</p> |

Literatuurlijst

- Adviescommissie Financiering Primaire Waterkeringen, 2006, Tussensprint naar 2015, Advies over de financiering van de primaire waterkeringen voor de bescherming van Nederland tegen overstroming, Advies op verzoek van de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat en de Voorzitter van de Unie van Waterschappen
- ARF, 2004a, Invloed waterstandsverhoging op kosten dijkversterking, Arcadis, Royal Haskoning en Fugro, mei 2004
- ARF, 2004b, Invloed waterstandsverhoging op kosten dijkversterking - Maas, Arcadis, Royal Haskoning en Fugro, november 2004
- Bruijn, K.M., de en Van der Doef, M., 2011. Gevolgen van overstromingen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. Projectnummer 1202129.005 Deltares, Delft.
- Van Dantzig, D. en J. Kriens, 1960. Het economische beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloed. in Deel 3, Bijlage JI.2 van het Rapport van de Deltacommissie.
- Deltacommissie, 2008. Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
- Deltares, 2010. SBW Piping HP8b Kalibratie van de veiligheidsfactoren (Estimation of safety factors for failure mechanisms piping and uplift), Deltares-rapport 1202123-002-GEO-0005
- Duits, M.T., 2010a. OptimaliseRing – Gebruikershandleiding van een numeriek rekenmodel voor de economische optimalisatie van veiligheidsniveaus van dijkring – Versie 2.2. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.
- Duits, M.T., 2010b. OptimaliseRing – Technische documentatie van een numeriek rekenmodel voor de economische optimalisatie van veiligheidsniveaus van dijkring – Versie 2.2. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.
- Duits-Nederlandse Werkgroep Hoogwater, 2009a. Risicoanalyse grensoverschrijdende dijkring Niederrehein. Fase 2 en 3: Hoofdrapport. Aken en Lelystad, april 2009.
- Eijgenraam, C., 2005. Veiligheid tegen overstromen – Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1 (CPB-document 82). Centraal Plan Bureau. Den Haag.
- Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), 2010. Piping. Realiteit of Rekenfout?
- Geerse, C., 2010. Omgang met B-keringen in WV21. Oktober 2010. Rapport van HKV LIJN IN WATER. Lelystad.
- Kind, J., 2008. Kengetallen Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Rijkswaterstaat. Rapportnummer WD 2008.044

Kind, J., 2011. Maatschappelijke Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw, Deltares, 1202129-007

Klijn, F., P. Baan, K. de Bruijn, J. Kwadijk, 2007. Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat. Verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later. WL|Delft Hydraulics.

Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2007, Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkering

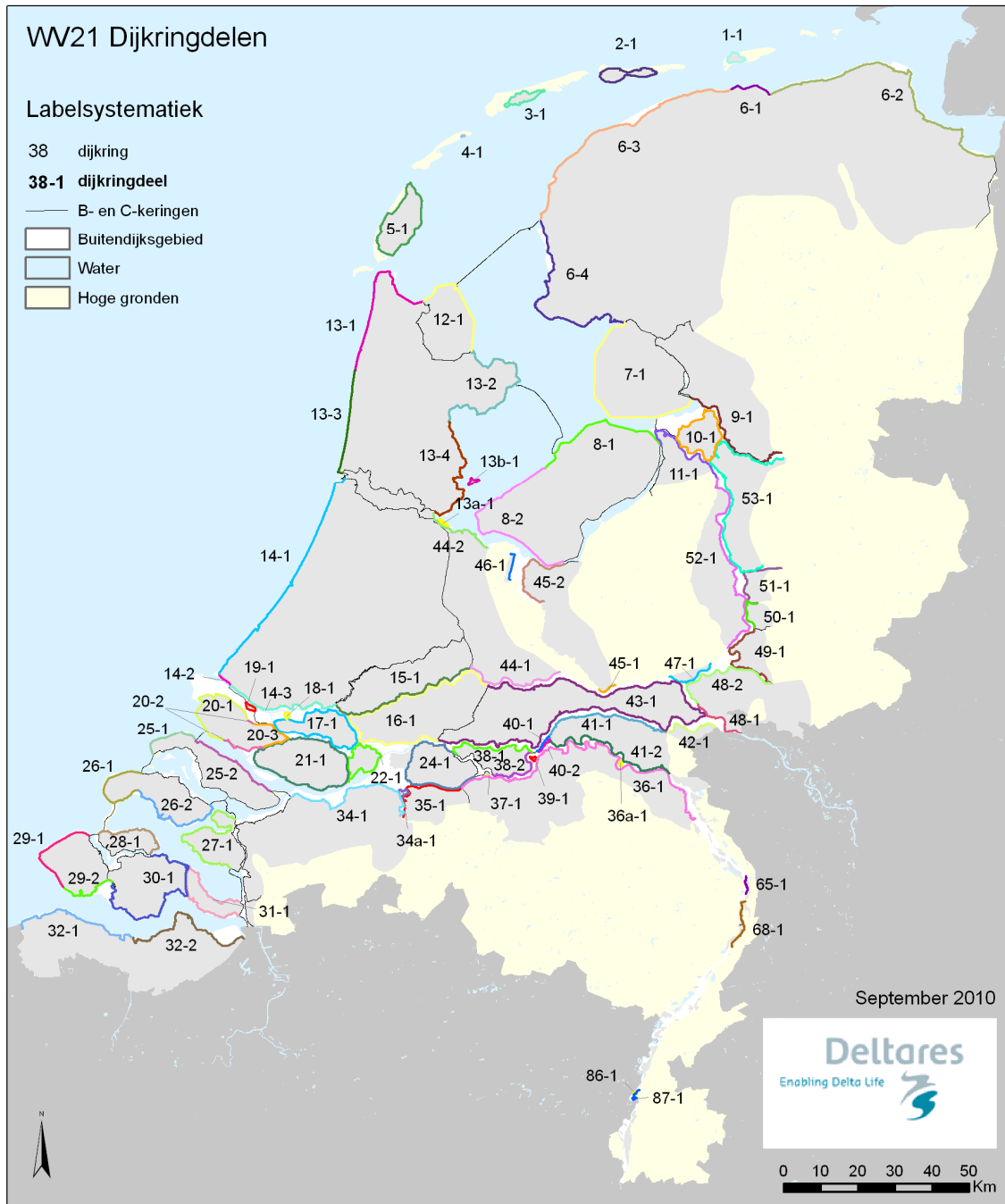
Ministerie Verkeer en Waterstaat, 2007, Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen

Sprong, T.A. (2008) Achtergronddocument case Business as Usual: Kostenschattingen, Eindversie 4 Maart 2008. www.adaptation.nl

Kuijper, B., Stijnen, J. en van Velzen, E., 2011. Overstromingskansen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. Projectnummer 1202129.003 Deltares, Delft.

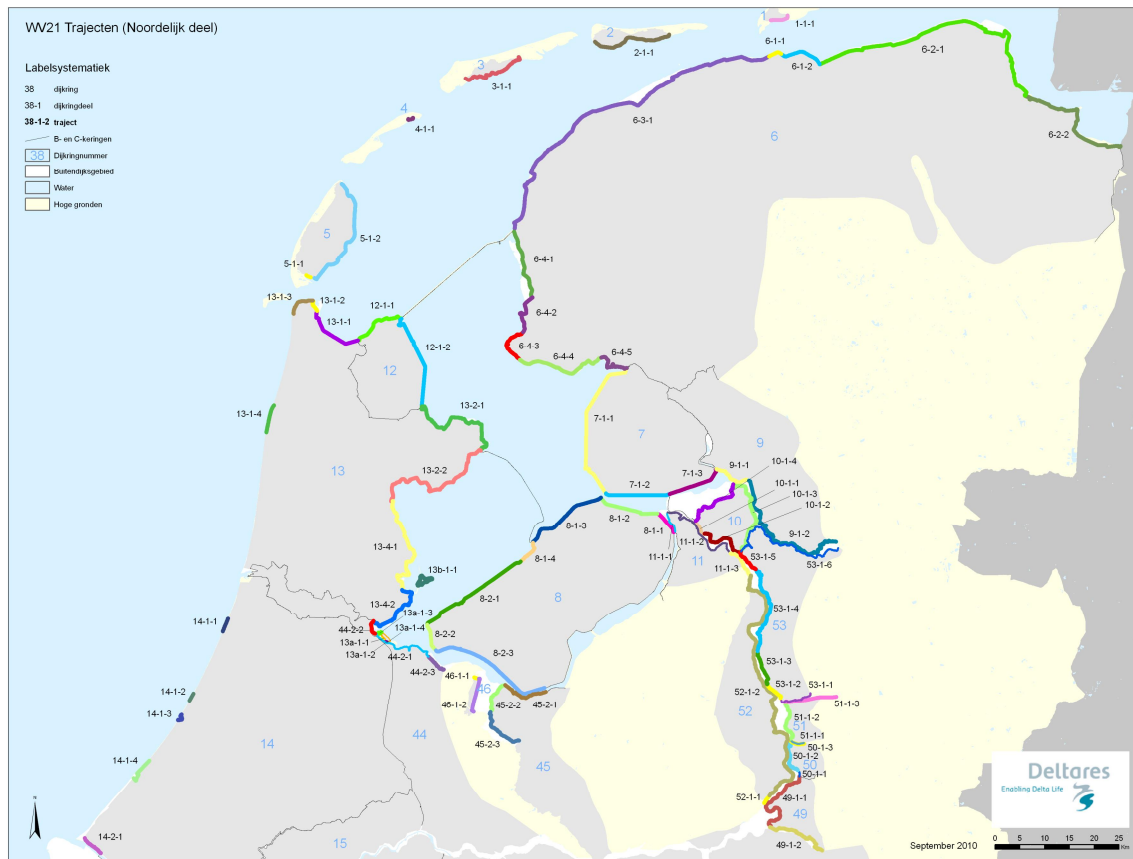
Werkgroep Kostenschattingen, 2009. Kostenschattingen Deltaprogramma voor de periode 2009 – 2100. Versie 2.1. Concept. 13 maart 2009.

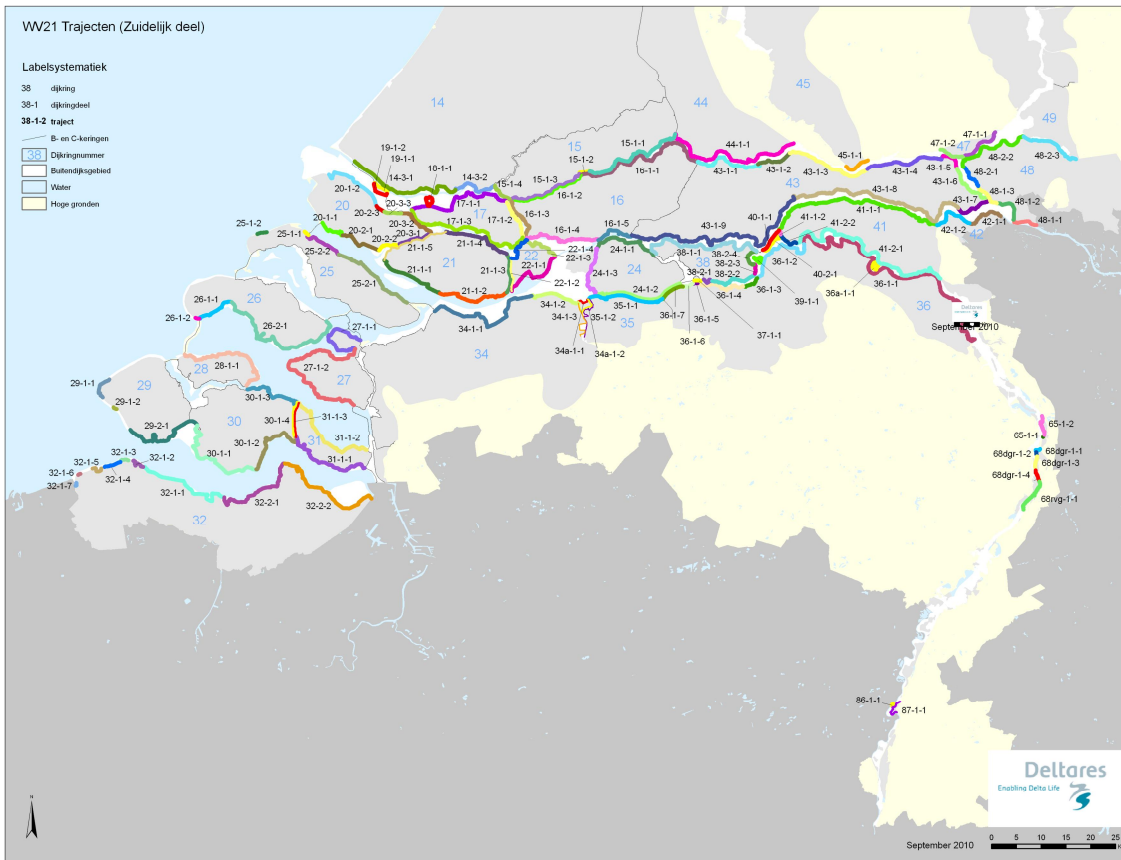
A Kaart ligging dijkringdelen



B Kaarten ligging dijkringtrajecten

@@@ In de hardcopy 2 A3 kaarten!





C Kostenfunctie Generator Dijkversterking

Voor de praktische uitvoering van de kostenberekeningen voor dijkversterking zoals beschreven in par 4.1 en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak in de gewenste vorm (zie par. 2.2.3) is voor de verschillende typen keringen en versterkingmaatregelen de zogenoemde Kostenfunctie Generator (KFG) Dijkversterking ontwikkeld. De inhoudelijke aanpak zoals die is beschreven in de voorgaande paragraaf is daarbij geconcretiseerd in de KFG Dijkversterking.

In de KFG Dijkversterking worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het totale pakket aan maatregelen dat uit oogpunt van dijkversterking moet worden getroffen, voor een concrete verhogingsstap (van de kruinhoogte). Deze berekeningen vinden achtereenvolgens plaats voor 20 discrete verhogingsstappen die de basis vormen voor de te ontwikkelen (deel)kostenfunctie dijkversterking. De omvang van de kruinverhogingsstappen kunnen per dijkkringtraject verschillen en worden bepaald op grond van de specifieke kenmerken van de hydraulische belasting voor het traject (gebaseerd op de decimeringshoogte van de dijkkrui).

C.1 Basisberekeningen in de KFG Dijkversterking

De kern van de KFG Dijkversterking wordt gevormd door de systematische berekening van de omvang en de kosten van alle noodzakelijke maatregelen en aanvullende voorzieningen voor een bepaalde kruinverhoging. In dit berekeningsproces wordt een achttal rekenstappen onderscheiden. Deze hebben betrekking op de bepaling van:

- 1) De benodigde kruinverhoging en de te keren waterhoogte.
- 2) Verwerking profielgegevens en algemene eisen profielaanpassing voor de vaststelling van de grond- en constructieve maatregelen.
- 3) De omvang en kosten van de grond- en constructieve maatregelen volgens de vier stappen van de 'verdringingsreeks' en de lengten van de deeltrajecten van het dijkvak waarvoor de maatregelen voor elk van deze vier stappen van toepassing zijn.
- 4) De kosten van de constructieve maatregelen voor deeltrajecten met uitgangssituatie constructief (de deeltrajecten CC) en voor de deeltrajecten die qua bebouwing en infrastructuur zijn aangemerkt als 'specials'.
- 5) De kosten gerelateerd aan de aanpassing van infrastructuur.
- 6) De vastgoedkosten voor grondaankoop.
- 7) De kosten van compensaties voor landschap en natuur.
- 8) De totale investeringskosten en de extra jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud.

Het volgende geeft van deze stappen een korte beschrijving.

1) Verandering benodigde kruinverhoging en te keren waterhoogte

Voor elk van de dijkvakken volgt de benodigde kruinverhoging direct uit de discrete rekenstap van de kruinverhoging die van toepassing is. Uit de gegevens over de hydraulische belastingsituatie is bij elke verhogingsstap van de kruin ook de bijbehorende verhoging van de maatgevende waterstand bekend.

2) Verwerking profielgegevens en algemene eisen profielaanpassing

Het gaat hier om de vaststelling van een aantal algemene gegevens die de basis vormen voor de berekening van de omvang van de benodigde maatregelen, te weten:

- De dijkhoogte in de aanvangssituatie
- De bermhoogte in de aanvangssituatie (alleen als in de uitgangssituatie een (landwaartse) berm aanwezig is)
- De afstand van de buitenkruinlijn tot de landwaartse dijkvoet
- De benodigde verhoging van het grondlichaam van de kering (gelijk aan de benodigde kruinverhoging inclusief een extra verhoging voor zetting en klink)
- De benodigde toename van de dijkbasis voor de macrostabiliteit
- De benodigde toename van de dijkbasis voor piping (kwelwegverlenging)

Deze gegevens worden alle direct afgeleid uit de verwerking van een aantal vaste profielgegevens en de invoergegevens over de benodigde profielaanpassing voor de betreffende kruinverhoging.

3) Omvang en kosten maatregelen volgens 'verdringingsreeks'

In dit onderdeel vindt de berekening plaats van de omvang en kosten voor de maatregelcombinaties die van toepassing zijn voor de (vier) stappen van de verdringingsreeks. Deze maatregelcombinaties worden aangeduid met M1 t/m M4 en zijn als volgt gedefinieerd:

1. M1: volledige oplossing in grond: combinatie van uitsluitend grondmaatregelen
2. M2: verhoging en verzwaring van het dijklichaam in grond in combinatie met het toepassen van een constructieve maatregel in de binnenwaartse dijkteen
3. M3: dijkverhoging in grond + eenzijdige versteiling van het (binnen)dijktalud in combinatie met een enkelvoudige constructieve maatregel in het dijklichaam
4. M4: dijkverhoging in grond + tweezijdige versteling van het dijktalud in combinatie met het aanbrengen van een kistdamconstructie in het dijklichaam

De meer specifieke keuzen betreffende de invulling van deze combinaties is afhankelijk van de kenmerken van het dijkprofiel in de uitgangssituatie (dijkprofiel met of zonder landwaartse berm) en de faalmechanismen die in aanvulling op de benodigde dijkverhoging van toepassing zijn. Hiervoor wordt verwezen naar het overzicht in Tabel 4.1 en de beschrijving in par. 4.2.

In de KFG Dijkversterking worden voor elk van de vier maatregelcombinaties de volgende zaken berekend:

- Het nieuwe (aangepaste) dijkprofiel op grond van de specificaties van de afmetingen van de grondmaatregelen.
- Aard en afmetingen van de benodigde constructieve maatregelen in dijkteen of dijklichaam (CB-wand, damwand, diepwand of kistdam).
- Het extra ruimtebeslag voor de uitbreiding van de kering volgend uit de benodigde landwaartse verschuiving van de dijkvoet (m).
- Directe bouwkosten van de benodigde grondmaatregelen per lengte-eenheid (€/m).
- Directe bouwkosten van de benodigde constructieve maatregelen per lengte-eenheid (€/m).
- Lengte van het deeltraject waarvoor de maatregelcombinatie van toepassing is (m).
- Totale bouwkosten (grond- en constructieve maatregelen) voor het deeltraject (K€).
- (Extra) jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud (B&O) voor de maatregelen op het deeltraject (K€/jaar).

Hierbij geldt de volgende toelichting:

- Voor de maatregelcombinaties M2 t/m M4 is altijd een combinatie van grond- en constructieve maatregelen van toepassing. Voor M1 gaat het om een combinatie van uitsluitend grondmaatregelen.
- De bepaling van de afmetingen van de constructieve maatregelen heeft betrekking op de benodigde verticale lengte per type constructieve maatregel. Bij de maatregel 'kistdam' wordt daarbij onderscheid gemaakt naar een aantal verschillende breedteklassen.
- De berekening van de kosten van de benodigde grondmaatregelen is gebaseerd op een vergelijking van het nieuwe, aangepaste profiel met het oude, oorspronkelijke profiel. Het gaat hier om standaardberekeningen die voor steeds wisselende profieldimensies en profielaanpassingen moeten kunnen worden uitgevoerd. Voor de uitvoering van deze generieke berekeningen wordt gebruik gemaakt van een specifiek ontwikkelde deelmodule die wordt aangeduid als de module 'grondmaatregelen dijkversterking' (GDV). Op de kenmerken en het gebruik van deze deelmodule wordt in par. C.2 nader ingegaan.
- Voor de berekening van de directe bouwkosten van de constructieve maatregelen wordt gebruik gemaakt van standaard kostenfuncties waarmee de kosten per strekkende m (in horizontale zin) per type constructie (CB-wand, damwand, etc.) worden bepaald als functie van de totale verticale lengte van het constructieve element.
- Cruciaal in de toepassing van de verdringingsreeks is de bepaling van de lengte van het deeltraject waarvoor de maatregelcombinatie van toepassing is. De sleutel daartoe is de vaststelling van het benodigde grondgebruik voor de verschillende maatregelcombinaties M1 t/m M4. Per definitie heeft de combinatie M1 de grootste ruimtebehoefte. De ruimtebehoefte neemt achtereenvolgens af voor de combinaties M2 en M3 en is (per definitie) gelijk aan nul voor de combinatie M4. De lengte van het deeltraject waarvoor een bepaalde maatregelcombinatie kan worden toegepast volgt uit de confrontatie van het benodigde ruimtegebruik met de inventarisatie van de beschikbare ruimte. Eerst wordt de lengte vastgesteld waarvoor toepassing van combinatie M1 mogelijk is. De combinatie M2 wordt toegepast voor de lengte waarvoor toepassing van M2 mogelijk is, verminderd met de lengte waarvoor M1 wordt toegepast. Evenzo geldt dat toepassing van M3 plaatsvindt over de lengte waarvoor toepassing van M3 mogelijk is, verminderd met de toepassingslengten van M1 en M2. De combinatie M4 met extra ruimtebeslag gelijk aan nul kan altijd worden toegepast. De toepassingslengte van M4 is daarom gelijk aan het restant van het traject (het deel waarvoor toepassing van M1, M2 of M3 niet mogelijk is). Zoals eerder vermeld wordt de verdringingsreeks toegepast voor twee verschillende deeltrajecten van het dijkvak, te weten: het deeltraject waarvoor de gehele verdringingsreeks, inclusief de volledige grondoplossing M1, van toepassing is (deze lengte is aangeduid met L_GGC) en het deeltraject waarvoor alleen combinaties van grond- en constructieve maatregelen (M2, M3 en M4) van toepassing zijn (deze lengte is aangeduid met L_GC netto) (zie par. 4.2). De toepassing van de verdringingsreeks leidt voor beide trajecten tot een opdeling in onderdelen (lengten) waarvoor resp. de maatregelcombinaties M1, M2, M3 en M4 van toepassing zijn. Met het toenemen van de benodigde kruinverhoging en het daarmee toenemende benodigde ruimtegebruik ontstaat hierbij een steeds verdere verschuiving van het aandeel van de maatregelcombinaties met een grote ruimtebehoefte in de richting van de combinaties met een kleinere ruimtebehoefte (van M1 naar M4).
- De totale bouwkosten worden berekend door vermenigvuldiging van de directe bouwkosten voor de grond- en constructieve maatregelen per lengte-eenheid met de lengte van de voor de maatregelcombinatie bepaalde toepassingslengte. Voor de 'vertaling' van de directe bouwkosten naar de totale bouwkosten wordt gebruik gemaakt van opslagfactoren die zijn vastgesteld per type maatregel (grond, constructief) en per

uitvoeringssituatie (makkelijk, normaal, moeilijk). De opslagfactoren zijn als onderdeel van de invoer van de kostengegevens bepaald (zie par. 4.6.)

- Voor de bepaling van de (extra) jaarlijkse kosten voor B&O wordt gebruik gemaakt van standaard percentages (van de totale investeringskosten) die per type maatregel als onderdeel van de invoer zijn vastgesteld. Voor de constructieve maatregelen wordt daarbij ook rekening gehouden met een jaarlijks afschrijvingspercentage dat is gebaseerd op een discontovoet en een levensduur (afschrijvingsperiode). De totale jaarlijkse kosten voor B&O volgen uit de toepassing van de B&O percentages op de investeringskosten per type maatregel en optelling van de B&O bedragen.

4) Kosten constructieve maatregelen voor deeltrajecten CC en 'specials'

Op grond van de inventarisatie van de basisgegevens per dijkvak zijn de lengten van de deeltrajecten waarvoor de bijzondere constructieve maatregelen CC1, CC2, CC3, Special1 en Special2 van toepassing zijn in de invoer gespecificeerd. Voor de kostenbepaling van deze maatregelen wordt uitgegaan van de toepassing van standaard kostenfuncties. De standaard kostenfuncties voor de verschillende typen constructies zijn daarbij gebaseerd op de kosten van een 'standaard' kistdam zoals die ook als onderdeel van de maatregelen in de verdringingsreeks wordt beschouwd. Voor elk van de bovengenoemde constructieve maatregelen is daartoe een factor gespecificeerd die de verhouding tot de kosten van de standaard kistdam aangeeft. De directe bouwkosten van de kistdam per strekkende m in horizontale zin worden bepaald als functie van de benodigde verticale lengte. De directe bouwkosten van de verschillende bijzondere constructieve maatregelen volgen uit de toepassing van de specifieke verhoudingsfactoren op de directe bouwkosten van de kistdam per lengte-eenheid en de lengten van de betreffende deeltrajecten. Voor de omzetting naar totale investeringskosten worden per constructieve maatregel verschillende opslagfactoren gehanteerd. De extra jaarlijkse B&O kosten worden bepaald op grond een in de invoer gespecificeerd B&O percentage (inclusief afschrijvingspercentage).

5) Kosten gerelateerd aan aanpassing infrastructuur

Wat betreft de kosten van aanpassing van infrastructuur wordt onderscheid gemaakt naar twee zaken:

- De kosten van het verplaatsen van de weginfrastructuur die zich bevindt op het bestaande dijkprofiel en/of in de uitbreidingszone van het dijkprofiel.
- De kosten van specifieke voorzieningen die moeten worden getroffen bij bovenliggende, ongelijkvloerse kruisingen van een bestaande dijk waarop een weg aanwezig is met andere lijninfrastructuur (zoals wegen en spoorwegen).

Kosten verplaatsen weginfrastructuur

Als onderdeel van de inventarisatie van de basisgegevens per dijkvak is vastgesteld wat de omvang is van de weginfrastructuur die zich binnen het bestaande dijkprofiel en in de landwaartse uitbreidingszone van het dijkprofiel bevindt. Daartoe is per dijkvak het aantal m² aanwezige weginfrastructuur bepaald als functie van de afstand van de buitenkruinlijn, gemeten in landwaartse richting loodrecht op de kering. In deze inventarisatie wordt uit oogpunt van de verschillen in de kosten van het verplaatsen onderscheid gemaakt naar 5 verschillende wegtypen.

Het uitgangspunt is dat het verplaatsen van de aanwezige weginfrastructuur die zich bevindt binnen het bestaande dijkprofiel altijd noodzakelijk is indien er sprake is van een kruinverhoging en aanpassing van het dijkprofiel. Voor de weginfrastructuur die zich bevindt in de uitbreidingszone is de hoeveelheid te verplaatsen infrastructuur afhankelijk van het extra ruimtebeslag. Het extra ruimtebeslag varieert echter sterk met de toepassing van de

maatregelcombinaties M1 t/m M4 volgens de verdringingsreeks. Een complicatie is daarbij dat de deeltrajecten waarvoor de maatregelcombinaties M1 t/m M4 van toepassing zijn geen aangesloten trajecten vormen maar afhankelijk van de variatie in de bebouwingssituatie min of meer willekeurig over de lengte van het dijkvak kunnen zijn verdeeld.

De hoeveelheid te verplaatsen weginfrastructuur in de uitbreidingszone van de kering is bovendien afhankelijk van de oriëntatie van de weginfrastructuur ten opzicht van de kering. In dit verband gelden de volgende observaties:

- Indien de weginfrastructuur altijd volledig parallel zou lopen aan de kering is het maximale ruimtegebruik volgens de verdringingsreeks (het ruimtegebruik bij de maatregelcombinatie M1) bepalend voor de hoeveelheid te verplaatsen infrastructuur.
- Indien de oriëntatie van weginfrastructuur volledig loodrecht op de kering zou zijn is het feitelijke ruimtegebruik voor elk van de deeltrajecten van maatregelcombinaties M1, M2, M3 en M4 afzonderlijk bepalend voor de hoeveelheid te verplaatsen infrastructuur.

Deze benaderingen kunnen worden opgevat als een boven- en ondergrens voor de bepaling van de feitelijk te verplaatsen hoeveelheden weginfrastructuur. Daarbij moet worden verwacht dat, afhankelijk van de situatie, de hoeveelheden volgens deze beide benaderingen aanzienlijk zouden kunnen verschillen. Specifieke informatie over de oriëntatie van de aanwezige infrastructuur is bij de inventarisatie van de basisgegevens echter niet meegenomen. Bij de bepaling van de feitelijk te verplaatsen hoeveelheden infrastructuur wordt daarom uitgegaan van een gewogen gemiddelde van de hoeveelheden die volgen uit de geschetste boven- en ondergrensbenadering. Het te hanteren gewicht is daarbij expliciet als invoergegeven (per wegtype) gespecificeerd.

De kosten van de verplaatsing van weginfrastructuur hebben betrekking op het opnemen, afvoeren en verwerken van de bestaande wegverharding en -fundering en het vervolgens weer aanbrengen van een nieuwe wegfundering en -verharding en zijn in de invoer per wegtype gespecificeerd als directe bouwkosten per m². Voor de omzetting naar totale investeringskosten wordt een opslagfactor gehanteerd. De (extra) B&O kosten worden in principe op grond van een jaarlijks percentage vastgesteld. Omdat het hier gaat om de verplaatsing van *bestaande* infrastructuur is dit percentage echter gelijk gesteld aan nul.

Kosten van voorzieningen bij ongelijkvloerse kruisingen

In het geval van een kruising van een dijk met daarop een weg met bovenliggende infrastructuur kan het dijklichaam niet of slechts beperkt worden verhoogd. In dat geval wordt uitgegaan van een standaard grondoplossing waarbij een extra stukje (verhoogde) dijk wordt aangelegd tot tegen het grondlichaam van de kruisende (hoger liggende) infrastructuur. De oorspronkelijke dijk met de weg blijft dan op de oude hoogte en het oorspronkelijke tracé van de kruising gehandhaafd.

Voor de standaard oplossing wordt uitgegaan van een nieuw stukje dijk. Voor de lengte hiervan wordt een vaste aanname gehanteerd die in de invoer kan worden gespecificeerd. Voor de profieldimensies wordt uitgegaan van de oorspronkelijke dijkhoogte en een aantal standaard waarden voor de kruinbreedte en de taludhellingen. Indien de ruimte voor de aanleg van een nieuw stukje dijklichaam ontbreekt moet een andere, locatie-specifieke constructieve oplossing worden gekozen. In die gevallen wordt voor de kostenbepaling uitgegaan van kosten die ten opzichte van de standaard grondoplossing (een nieuw stukje dijk) met een bepaalde factor (>1) wordt vermenigvuldigd. Deze factor wordt in de invoer nader gespecificeerd. Het aantal kruisingen van dijken met daarop een weg met bovenliggende infrastructuur is bij de inventarisatie van de basisgegevens per dijkvak

bepaald. Daarbij zijn de aantallen kruisingen waarbij kan worden uitgegaan van de standaard grondoplossing (aantal kruisingen grond) en de kruisingen waarbij dat niet het geval is (aantal kruisingen constructief) afzonderlijk geregistreerd.

De berekening van de kosten van de standaard grondoplossing voor de te treffen voorziening is gebaseerd op de kosten van aanleg van een extra stukje dijk. Daartoe is een generieke berekening opgenomen die is gebaseerd op de dimensies van het bestaande dijkprofiel en een aantal aanvullende aannamen. De verder benodigde invoergegevens hebben betrekking op het aantal kruisingen (onderscheiden naar aantal kruisingen grond en aantal kruisingen constructief).

In deze berekeningen wordt voorts rekening gehouden met:

- De mogelijkheid dat onder de kruisingen gemiddeld een extra vrije ruimte aanwezig is zodat een bepaalde kruinverhoging mogelijk is zonder dat aanvullende voorzieningen behoeven te worden getroffen.
- De kosten van een additioneel benodigd volume (zand) door zetting van het nieuwe dijklichaam en de ondergrond.
- Een extra aan te kopen bufferzone grond (m^2/m^1) boven het netto ruimtebeslag van het nieuwe dijklichaam.

6) Vastgoedkosten voor grondaankoop

De vastgoedkosten hebben uitsluitend betrekking op de aankoop van grond. De daarbij te hanteren grondprijzen zijn afhankelijk van het grondgebruik (de bestemming) in de invloedzone van de kering. Daarbij is onderscheid gemaakt naar grondprijzen voor 'bebouwd' en 'onbebouwd' en naar een aantal verschillende regio's in het land, te weten 'west/stedelijk', 'landelijk' en 'overgangsgedebied'. Voor grond in de categorie 'bebouwd' en 'west/stedelijk' gelden hoge prijzen; voor de categorie 'onbebouwd' en 'landelijk' gelden lage prijzen. De regio waarin het dijkvak zich bevindt is bepaald bij de inventarisatie van de basisgegevens. De toewijzing aan de categorieën bebouwd en onbebouwd is afhankelijk gesteld van de van toepassing zijnde maatregelcombinatie. De maatregelcombinatie M1 (voldoende ruimte voor volledige grondoplossing) is daarbij gekoppeld aan de categorie 'onbebouwd'. De maatregelcombinatie M3 (zeer beperkte beschikbare ruimte) is gekoppeld aan de categorie 'bebouwd'. Voor de combinatie M2 wordt hiervan het gemiddelde gehanteerd. Bij de combinatie M4 is er geen grondbehoefte.

De directe kosten van grondaankoop per maatregelcombinatie volgen uit het product van het benodigde ruimtegebruik, de lengte van het toepassingstraject en de grondprijs zoals bepaald volgens het bovenstaande. Voor de omzetting naar totale vastgoedkosten wordt een opslagfactor gehanteerd die afzonderlijk per maatregelcombinatie is vastgesteld.

7) Kosten van compensaties voor landschap en natuur

Per dijkvak moet bij de inventarisatie van de basisgegevens worden bepaald over welke lengte gemeten langs het dijkvak sprake is van de aanwezigheid van een natuurgebied of van landschappelijke waarden waarvoor compensatie is vereist. Aangenomen wordt dat deze 'compensatielengte' zich bevindt in het deeltraject waarvoor maatregelcombinatie M1 van toepassing is (het deel waar sprake is van voldoende open ruimte). Het grondgebruik waarvoor compensatie nodig is wordt daarom bepaald door het voor M1 benodigde grondgebruik vermenigvuldigd met de gegeven compensatielengte per dijkvak. De directe kosten volgen uit het product van het te compenseren grondgebruik en een grondprijs die voor de aankoop van 'compensatiegronden' in de invoergegevens is vastgesteld. Voor de

omzetting naar de totale kosten wordt een eveneens in de invoer vastgestelde opslagfactor gehanteerd.

8) Totale investeringskosten en extra jaarlijkse kosten voor B&O

Voor de gegeven kruinverhoging worden de totale investeringkosten bepaald als de som van de totale bouwkosten (de kosten voor de grond- en constructieve maatregelen voor dijkversterking en de kosten voor de aanpassing van infrastructuur); de vastgoedkosten (grondaankoop); en de kosten van compensatie. Voor zover van toepassing worden voor deze posten ook de berekende extra jaarlijkse kosten voor B&O (in absolute zin) gesommeerd. Deze extra B&O kosten hebben uitsluitend betrekking op de inschatting van de extra jaarlijkse kosten (boven de B&O kosten van de al bestaande kering) die ontstaan door het treffen van extra maatregelen en voorzieningen. Op grond van de totale investeringskosten en de totale extra jaarlijkse B&O kosten wordt vervolgens het percentage extra B&O kosten per kruinverhogingsstap vastgesteld.

C.2 Opzet en gebruik module Grondmaatregelen Dijkversterking (GDV)

Grondmaatregelen vormen altijd een onderdeel van de dijkversterkingsmaatregelen die binnen de uitgangssituatie gronddijk worden getroffen (zoals beschouwd in de maatregelcombinaties M1 t/m M4). Als basis voor de kostenbepaling van deze maatregelen moet een aantal hoeveelheden worden bepaald die samenhangen met de noodzakelijke aanpassing van het dijkprofiel. Als uitgangspunt voor het maken van deze berekeningen wordt uitgegaan van een standaard opbouw van het aan te passen dijkprofiel, als volgt:

- De aanwezigheid van een 'zaadbank' als toplaag van het profiel overeenkomend met de wortelzone van de grasbegroeiing. De dikte hiervan kan nader worden vastgesteld. Doorgaans wordt uitgegaan van een dikte van 0,30 m. Bij aanpassing van het oude profiel wordt de bestaande, te verwijderen zaadbank zo mogelijk in het nieuwe profiel verwerkt. Voor de additioneel benodigde zaadbank moet teelaarde worden aangevoerd.
- De aanwezigheid van een afdeklaag of bekledingslaag onder de zaadbank (in principe van klei) van een bepaalde, nader te specificeren dikte (doorgaans in de orde van 0,50 m). Voor zover de bestaande afdeklaag bij aanpassing van het oude profiel moet worden 'vergraven' kan het materiaal als kernmateriaal worden hergebruikt. Voor de afdeklaag van het nieuwe profiel wordt ervan uitgegaan dat altijd een nieuwe, ongeschonden, kleilaag wordt aangebracht.
- Een opbouw van de dijk kern uit kernmateriaal (doorgaans zand).

Voor de kostenbepaling van de grondmaatregelen moeten de volgende hoeveelheden worden berekend:

- Aan te voeren en te verwerken teelaarde (m³).
- Aan te voeren en te verwerken afdek materiaal (m³).
- Als zaadbank in profiel te verwerken (m³).
- Als kernmateriaal in profiel te verwerken (m³).
- Aan te voeren en te verwerken kernmateriaal (m³).
- Af te voeren overtollig materiaal (m³).
- Te profileren oppervlakte zaadbank/eindprofiel (m²).
- Te profileren oppervlakte afdek materiaal (m²).
- Te profileren oppervlakte kernmateriaal (m²).
- Benodigde oppervlaktebewerking maaiveld door additioneel grondgebruik (m²).

Bij de uitvoering van deze berekeningen is er sprake van vele verschillende situaties betreffende de afmetingen van het bestaande dijkprofiel en de combinaties van te treffen grondmaatregelen (naar aard en benodigde afmetingen). Dit leidt tot de behoefte om te kunnen beschikken over een generieke, gestandaardiseerde rekenprocedure waarbij voor alle denkbare varianten ten aanzien van het aanpassen van het dijkprofiel en de dimensies van het bestaande dijkprofiel de bovenstaande grootheden direct kunnen worden bepaald. Binnen de rekenprocedures van de KFG Dijkversterking is een dergelijke procedure ontwikkeld en als een aparte module opgenomen. Aan deze module wordt gerefereerd als: de module 'grondmaatregelen dijkversterking' (GDV).

De principes van de GDV zijn ontleend aan de zogenoemde Ontwerpmodule voor dijkversterkingsmaatregelen die in een eerder stadium als onderdeel van het project KOSWAT is ontwikkeld. De essentie van de aanpak van de DGV is dat op geheel flexibele wijze een specificatie kan worden gemaakt van een 'oud' en een 'nieuw' dijkprofiel. Het oude dijkprofiel beschrijft het dijkprofiel in de uitgangssituatie. Het nieuwe dijkprofiel beschrijft het gewenste dijkprofiel na aanpassing. Van alle punten die van belang zijn voor het definiëren van het oude en/of het nieuwe profiel worden in een rechthoekig assenstelsel de x- en y-waarden vastgelegd. Vervolgens wordt het profiel 'ontleed' in segmenten waarvoor de ligging van het oude en het nieuwe profiel op eenduidige wijze is bepaald. Per segment vindt op grond van het verschil tussen de ligging van de oude en de nieuwe profiellijn een volledig generieke berekening plaats van alle hoeveelheidsparameters die nodig zijn voor de kostenberekening, zoals in het bovenstaande aangegeven. Deze hoeveelheden worden voor het gehele profiel geaggregeerd, als basis voor de uitvoering van de kostenberekening.

Deze aanpak maakt het mogelijk om de hoeveelheden en kosten van elke denkbare aanpassing van een bestaand dijkprofiel direct te bepalen. Dergelijke aanpassingen hebben o.a. betrekking op:

- Het verhogen van de dijkkruin.
- Het verbreden of versmallen van de dijkkruin
- Het veranderen van de hellingen van binnen en buitentalud (verflauwing of versteiling).
- Het toevoegen van bermen of het verlengen van bestaande bermen.
- Het aanpassen van bermhoogten.

De gegevens van het dijkprofiel in de uitgangssituatie vormen onderdeel van de standaard invoergegevens per dijkvak. De dimensies van de benodigde aanpassing van het dijkprofiel kunnen per kruinverhogingstap eenvoudig worden vastgesteld op grond van de aard van de benodigde maatregelen en de vastgestelde rekenregels voor de afmetingen per maatregel (zie par. 4.2). De aard van de benodigde maatregelen is daarbij afhankelijk van de relevante faalmechanismen en de stap in de verdringingsreeks die van toepassing is (de maatregelcombinaties M1 t/m M4). De dimensie van de benodigde aanpassingen zijn afhankelijk van de benodigde kruinverhoging. Aldus ontstaat een situatie dat per dijkvak en per kruinverhogingstap een afzonderlijke bepaling moet plaatsvinden van de benodigde aanpassingen van het dijkprofiel en de daarmee samenhangende kosten van de grondmaatregelen voor elk van de vier maatregelcombinaties. Dat leidt ertoe dat voor elke deelkostenfunctie per dijkvak de module GDV in totaal 80 keer (voor vier maatregelcombinaties en 20 kruinverhogingstappen) wordt gehanteerd.

C.3 Realisatie KFG Dijkversterking

De KFG Dijkversterking is als afzonderlijk instrument ontwikkeld op basis van een EXCEL spreadsheet. In deze spreadsheet worden diverse onderdelen onderscheiden die in verschillende werkbladen zijn ondergebracht, als volgt:

- **Invoer:** totaal overzicht van de benodigde invoergegevens per dijkvak.
- **SA:** overzicht van de gehanteerde systeemaannamen.
- **KFG:** de basisberekeningen betreffende de aard/omvang en kosten van de benodigde maatregelen, aanpassingen en voorzieningen per kruinverhogingstap.
- **GDV:** de module Grondmaatregelen Dijkversterking.
- **EP:** overzicht van eenheidsprijzen en opslagfactoren voor de kostenberekeningen.
- **Uitvoer:** de berekende (deel)kostenfuncties per dijkvak.

Werkblad Invoer

Het werkblad Invoer bevat het resultaat van de inventarisatie, analyses en verwerkingen die als onderdeel van de basisinventarisatie van de gegevens per dijkvak zijn uitgevoerd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar de volgende gegevenscategorieën:

- Algemene gegevens dijkvak: identificatie, lengte en locatiegegevens van het dijkvak alsmede een aantal dijkvakgebonden kenmerken (grondprijnsregio, compensatielengte natuur).
- Gegevens dijkprofiel: afmetingen en kenmerken van het representatieve dijkprofiel.
- Oversterkte en grondgesteldheid: mogelijkheden voor het specificeren van relatieve oversterkte per faalmechanisme; gegevens over de ligging van lagen in ondergrond relevant voor opbarsten/piping en macrostabiliteit.
- Hydraulische gegevens: kenmerken hydraulische condities en belasting.
- Dimensies benodigde versterkingsmaatregelen voor opbarsten/piping en macrostabiliteit op basis van resultaten RRD analyse.
- Gegevens lengten deeltrajecten: onderverdeling van dijkvaklengte naar deeltrajecten uitgangssituatie constructief (CC1, CC2 en CC3); deeltrajecten 'specials'; en de deeltrajecten ten behoeve van de toepassing van verdringingsreeks voor resp. alle maatregelcombinaties (M1 t/m M4) en alleen de combinaties met constructieve maatregelen (M2 t/m M4).
- Bijzondere voorzieningen kruisingen infrastructuur: aantal kruisingen 'grond' en 'constructief'.
- Gegevens bebouwing en infrastructuur: de bebouwde trajectlengte (m) en de lengte van voorkomende weginfrastructuur (m) naar wegtype als functie van de (landwaartse) afstand vanaf de buitenkruinlijn.

Voor een nadere beschrijving van de wijze waarop deze gegevens zijn vastgesteld wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Werkblad SA

Het werkblad SA bevat een specificatie van de systeemaannamen die aan de uitvoering van de berekeningen in de KFG Dijkversterking ten grondslag liggen. De systeemaannamen hebben betrekking op de kwantificering van modelparameters en relaties waarbij sprake is van een bepaalde onzekerheid. Door het expliciet en aanpasbaar maken van deze waarden en keuzen kunnen de effecten van de aan deze keuzen verbonden onzekerheden achteraf op een systematische wijze worden vastgesteld. Hiermee wordt een basis geboden voor de uitvoering van een gevoeligheidsonderzoek. Binnen het werkblad SA worden systeemaannamen beschouwd binnen de volgende categorieën:

- Afmetingen en opbouw dijkprofiel.
- Afmetingen constructieve oplossingen.
- Ruimte criterium toepassing constructieve oplossing versus volledige grondmaatregelen.
- Systeemaannamen voor dijkverlegging en -aansluiting bij kruisingen.
- Afmetingen infrastructuur (wegen en opritten) per wegtype.
- Keuzen moeilijkheidsgraad per type maatregel ten behoeve van bepaling opslagfactoren.
- Kostenfactoren ter bepaling kosten bijzonder constructies (CC en Special) in relatie tot kosten kistdam.

Voor een nadere beschrijving van de wijze waarop invulling is gegeven aan de systeemaannamen wordt verwezen naar par. 4.5.

Werkblad KFG

Het werkblad bevat de volledige uitwerking van de berekeningen die per kruinverhogingsstap worden uitgevoerd voor de vaststelling van de dimensies van de benodigde maatregelen, aanpassingen en voorzieningen en van alle kostenramingen daarvan, volgens de stappen zoals die zijn beschreven in par. C.1.

Werkblad GDV

In het werkblad GDV zijn de inhoudelijke berekeningen opgenomen van de module Grondmaatregelen Dijkversterking (zie par. C.2). Daarbij worden de grondmaatregelen zoals die binnen de verdringingsreeks (de maatregelcombinaties M1 t/m M4) worden vastgesteld 'vertaald' naar een gewenst dijkprofiel. Op grond van de gegevens over het gewenste (nieuwe) dijkprofiel en het oorspronkelijke (oude) dijkprofiel worden in het werkblad GDV de maatregelhoeveelheden en de directe bouwkosten van de grondmaatregelen bepaald. Deze directe bouwkosten worden vervolgens doorgegeven naar het werkblad KFG voor de verdere berekening van de totale investeringskosten volgens de procedure zoals beschreven in par. C.1.

Werkblad EP

In dit werkblad is een overzicht opgenomen van alle eenheidsprijzen, opslagfactoren en andere specifieke invoergegevens die voor de uitvoering van de kostenberekeningen worden gehanteerd. Daarbij is een indeling gemaakt naar de volgende categorieën:

- Eenheidsprijzen grondmaatregelen.
- Eenheidsprijzen constructieve maatregelen.
- Grondprijzen.
- Eenheidsprijzen kosten wegconstructies.
- Opslagfactoren per type maatregel of kostenpost
- Percentage extra B&O

Voor een nadere beschrijving van de wijze waarop de verschillende typen gegevens voor de kostenberekening zijn bepaald wordt verwezen naar par. 4.6.

Werkblad Uitvoer

In dit werkblad worden de eindresultaten van de berekeningen per dijkvak verzameld. Per dijkvak bestaan deze resultaten uit:

- Een beperkt aantal basisgegevens per dijkvak, te weten: de dijkvakcode; de lengte van het dijkvak; en de bij de berekeningen gehanteerde stapgrootte (in m) voor kruinverhoging en de maatgevende waterstand.
- De totale investeringskosten per kruinverhogingstap (voor 20 stappen).
- De totale investeringskosten per km dijkvak per kruinverhogingstap (voor 20 stappen).

Voor het gebruik van de KFG Dijkversterking zijn verdere faciliteiten ontwikkeld voor het automatisch genereren van de gewenste invoergegevens per dijkvak (de gegevens zoals opgenomen in het werkblad Invoer) en het automatisch uitvoeren van alle berekeningen die nodig zijn voor het vaststellen van de deekostenfuncties Dijkversterking voor alle dijkvakken. Verdere procedures voorzien in het aggregeren van de totale kostenfuncties en het beschikbaar maken van de kostenfuncties en bijbehorende informatie in de juiste vorm voor het verdere gebruik in de Kosten-Baten Analyse (OptimaliseRing).

D Kostenfunctie Generator Dijkbekleding

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak is een Kostenfunctie Generator (KFG) Dijkbekleding ontwikkeld. In de KFG Dijkbekleding worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het geheel aan maatregelen voor de versterking van de dijkbekleding. Onderscheid wordt gemaakt naar drie afzonderlijke Kostenfunctie Generatoren Dijkbekleding voor resp. de hoofdsystemen Kust/Estuaria, Meer en Rivier. De opzet van deze kostenfunctie generatoren in generieke zin vertoont daarbij sterke overeenkomsten. Het volgende geeft een overzicht van de inhoudelijke basisberekeningen die in de kostenfunctie generatoren worden beschouwd en van de wijze waarop de realisatie van de KFG'en heeft plaatsgevonden.

D.1 Basisberekeningen in KFG Dijkbekleding

Alle berekeningen in de KFG Dijkbekleding vinden plaats per dijkvak. De belangrijkste stappen zijn:

- 1) Vaststellen van de basisgegevens per dijkvak.
- 2) Het verwerken van de specifieke invoergegevens voor verschillende uitgangssituaties per dijkvak.
- 3) Vaststellen van aard bekledingsmaatregelen en uitvoeren kostenberekeningen.
- 4) Vaststellen totale kostenfunctie versterking dijkbekleding per dijkvak.

1) Vaststellen basisgegevens per dijkvak

De benodigde basisgegevens per dijkvak hebben betrekking op:

- Kenmerken dijkvak: code dijkvak, lengte dijkvak, hoofd- en subsysteem waartoe het dijkvak behoort.
- Kenmerken dijkprofiel: helling buitentalud; bermsituatie (wel of geen berm; hoogteligging en lengte buitenberm); aard aanwezige bekleding in de uitgangssituatie.
- Kenmerken hydraulische belasting: Ontwerppeil, gemiddelde waterstand, gemiddeld laag water, significante golfhoogte, stapgrootte kruinverhoging en verhoging ontwerpwaterstand die voor het dijkvak van toepassing is.

De basisgegevens zijn afkomstig van verschillende bronnen (zie par. 5.2). De basisgegevens worden verwerkt in een standaard format met een enkele invoerregel per dijkvak. De uitgangssituatie betreffende de bestaande bekleding is bepalend voor de vaststelling van de aard van de te treffen versterkingsmaatregelen en de verdere kostenbepaling. In veel gevallen blijkt dat deze uitgangssituatie over het dijkvak (met een lengte die in bepaalde gevallen tot tientallen km kan oplopen) niet uniform is. Voor elk dijkvak wordt daarom onderscheid gemaakt naar een deeltraject met uitgangssituatie 'zacht' (geen harde bekleding aanwezig) en een deeltraject met uitgangssituatie 'hard' (wel harde bekleding aanwezig). Indien voor het dijkvak wel sprake is van een uniforme situatie is er slechts een enkel deeltraject gelijk aan de lengte van het dijkvak en is de lengte van het andere deeltraject gelijk aan 0. De splitsing in twee deeltrajecten wordt gemaakt op grond van de beschikbare gegevens over de aard van de bekleding. Bij het ontbreken van gegevens worden daarbij per hoofdsysteem bepaalde default aannamen gehanteerd.

2) Verwerking invoergegevens voor verschillende uitgangssituaties per dijkvak

Voor elk van de beide deeltrajecten van het dijkvak ('zacht' en 'hard') vindt een verdere verwerking plaats van de voor de berekeningen benodigde invoergegevens. Het gaat hier enerzijds om het organiseren van de beschikbare gegevens en anderzijds om het toevoegen van een aantal meer gedetailleerde gegevens die geen onderdeel vormen van de algemene inventarisatie van de basisgegevens (in het algemeen niet per dijkvak beschikbaar zijn). Deze toegevoegde informatie heeft o.a. betrekking op: het vaststellen van de begrenzingen van de specifieke onderdelen van het buitentalud; het nader specificeren van de aanwezige bekleding op de onderdelen van het buitentalud (aard en laagdikte harde bekleding); en de te hanteren aannamen betreffende de dH-reserve. Voor deze aanvullende informatie is voor de verschillende hoofd- en subsystemen een aantal default waarden gedefinieerd die zijn gebaseerd op de meer algemene ontwerp-kennis en de beschikbare kennis en gegevens over de algemeen voorkomende praktijksituaties. Deze default waarden zijn aangemerkt als systeemvariabelen die door de gebruiker kunnen worden aangepast. De invloed van de keuzen t.a.v. deze systeemvariabelen komen in het uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek nader aan de orde (zie hoofdstuk 1). De verwerking van de invoergegevens leidt tot een standaard rapport van de benodigde invoer voor de verdere berekeningen per deeltraject. Bij het verwerken van deze invoer wordt ook een aantal consistentie checks op de beschikbare invoer uitgevoerd en vinden zondig aanpassingen plaats.

3) Vaststellen aard bekledingsmaatregelen en uitvoeren kostenberekeningen

De basis van de KFG Dijkbekleding wordt gevormd door de berekeningen voor de 'zachte' en 'harde' deeltrajecten waarbij de aard en omvang van de benodigde versterkingsmaatregelen worden bepaald en de investeringskosten worden berekend. Deze berekeningen vinden plaats voor een gegeven kruinverhoging en bijbehorende verhoging van de maatgevende waterstand (het Ontwerppeil). De verandering van het ontwerppeil vormt daarbij de directe aansturing voor de vaststelling van de benodigde maatregelen. De maatregelen worden afzonderlijk vastgesteld voor de verschillende onderdelen van het buitentalud. Hierbij is het overzicht van mogelijke maatregelen van toepassing zoals gegeven in par. 5.1.2. Aard en omvang van de feitelijk toe te passen maatregelen worden bepaald door de kenmerken van de uitgangssituatie (aanwezige bekleding en profielafmetingen van het buitentalud). De kosten worden bepaald op grond van het hanteren van eenheidsprijzen voor de verschillende maatregelhoeveelheden (zoals te verwijderen en aan te brengen harde bekleding in m² en te verwerken grondhoeveelheden in m³) en het gebruik van opslagfactoren voor verschillende situaties.

4) Vaststellen totale kostenfunctie bekleding per dijkvak

De kostenberekeningen worden uitgevoerd voor 20 discrete stappen van de kruinverhoging en de bijbehorende verhogingsstappen van de maatgevende waterstand (Ontwerppeil). Deze stapgrootten zijn per dijkkringtraject en dijkvak vooraf vastgesteld. De berekeningen vinden afzonderlijk plaats voor de twee deeltrajecten die per dijkvak zijn onderscheiden ('zacht' en 'hard'). De resultaten worden vervolgens per kruinverhogingsstap opgeteld. Aldus ontstaat een totale, discrete kostenfunctie per dijkvak voor de versterking van de dijkbekleding volgens het standaard format.

D.2 Realisatie KFG Dijkbekleding

De KFG Dijkbekleding is ontwikkeld op basis van een EXCEL spreadsheet. Daarbij zijn afzonderlijke spreadsheets ontwikkeld voor de verschillende hoofdsystemen (Kust/Estuaria.

Meer en Rivier). In de (generieke) opzet van deze spreadsheets worden diverse onderdelen onderscheiden die in verschillende werkbladen zijn ondergebracht, als volgt:

- **BG**: overzicht van basisgegevens.
- **EP**: overzicht van eenheidsprijzen en opslagfactoren voor de kostenberekeningen.
- **SADFW**: gehanteerde systeemaannamen en defaultwaarden.
- **Invoer1**: verwerking invoergegevens deeltraject 1 (uitgangssituatie 'zacht').
- **Invoer2**: verwerking invoergegevens deeltraject 2 (uitgangssituatie 'hard').
- **KFG**: de basisberekeningen betreffende de aard/omvang en kosten van de benodigde maatregelen, aanpassingen en voorzieningen per kruinverhogingstap..
- **Uitvoer**: de berekende (deel)kostenfuncties per dijkvak.

Werkblad BG

In dit werkblad worden de gegevens ingelezen die het resultaat vormen van de inventarisatie, analyses en verwerkingen van de basisgegevens per dijkvak. Voor een nader overzicht van de basisgegevens voor de verschillende hoofdsystemen wordt verwezen naar par. 5.2. Deze gegevens worden verder verwerkt in een tweetal invoerregels per dijkvak op grond van de splitsing van het dijkvak in een 'zacht' en 'hard' deeltraject. Tevens wordt hierbij een aantal consistentie checks uitgevoerd.

Werkblad EP

Het werkblad bevat een overzicht van de eenheidsprijzen en opslagfactoren voor de uitvoering van de kostenberekeningen. Daarbij is een indeling gemaakt naar de volgende categorieën:

- Eenheidsprijzen per afzonderlijke kostenpost: het verwijderen/afvoeren van oude bekledingen en overtollig materiaal en het leveren/aanbrengen van nieuwe bekledingen en materialen in €/m² en €/m³.
- Een afleestabel voor de eenheidsprijs (€/m²) voor het leveren en aanbrengen van steenzettingen per zwaarteklasse (hoogte betonzuilen).
- Opslagfactoren voor verschillende uitvoeringsomstandigheden (makkelijk, gemiddeld, moeilijk).

Werkblad SADFW

Het werkblad SADFW bevat een specificatie van de systeemaannamen en default waarden die aan de uitvoering van de berekeningen in de KFG Dijkbekleding ten grondslag liggen. De systeemaannamen hebben betrekking op de kwantificering van modelparameters en relaties waarbij sprake is van een bepaalde onzekerheid. De default waarden geven invulling aan een aantal meer specifieke gegevens die niet in detail per dijkvak beschikbaar zijn en die op grond van meer algemene kennis en ervaringsgegevens zijn ingevuld. Binnen het werkblad worden de volgende categorieën beschouwd:

- Algemeen: aannamen en default waarden die voor de KFG Dijkbekleding als geheel van toepassing zijn.
- Systeemaannamen en default waarden per hoofdsysteem: aannamen betreffende profielkenmerken die per hoofdsysteem worden gehanteerd.
- Systeemaannamen en default waarden per subsysteem: aannamen betreffende de specifieke uitgangssituatie en kenmerken per subsysteem.

Werkbladen Invoer1 en Invoer2

In deze werkbladen vindt de verwerking plaats van de specifieke invoergegevens voor de deeltrajecten 'zacht' en 'hard' zoals die binnen het dijkvak zijn onderscheiden. De opzet en inhoud (qua type informatie) van deze werkbladen is identiek. Beschikbare basisgegevens worden verwerkt op grond van de gespecificeerde systeemaannamen. Ontbrekende en

gedetailleerde invoergegevens worden aangevuld en toegevoegd op grond van de gespecificeerde default waarden. Bij de opzet van het standaard invoerblad worden de volgende categorieën onderscheiden:

- Algemene vakgegevens: code, lengte en subsysteem.
- Hydraulische gegevens: Ontwerppeil en andere relevante waterstanden; situatie buitenberm.
- Specificatie kenmerken buitentalud per onderdeel (ondertalud onderste en bovenste deel; berm; boventalud): begrenzingen; taludhelling; aard en afmetingen (dikte) bestaande bekleding; dH-reserves; en ontwikkeling van toepassingsbereik maatregelen.

Werkblad KFG

Het werkblad KFG bevat de volledige uitwerking van de berekeningen die per kruinverhogingsstap worden uitgevoerd voor de vaststelling van de benodigde maatregelen en de kostenramingen daarvan, leidend tot een gediscrèteerde kostenfunctie per dijkvak. De berekening van de kostenfunctie vindt afzonderlijk plaats voor de twee onderscheiden deeltrajecten ('zacht' en 'hard') van het dijkvak. De kostenfuncties per deeltraject, met inachtneming van de lengten per deeltraject, worden vervolgens tot een enkele kostenfunctie samengesteld. Voor de totale kostenfunctie worden ook de kosten per km berekend.

Werkblad Uitvoer

In het werkblad Uitvoer worden de eindresultaten van de berekeningen per dijkvak verzameld. Deze resultaten bestaan uit:

- Dijkvakcode en lengte dijkvak (m); stapgrootte voor kruinverhoging en maatgevende waterstand (m).
- De totale investeringskosten per kruinverhogingsstap (voor 20 stappen).
- De totale investeringskosten per km dijkvak per kruinverhogingsstap (voor 20 stappen).

Voor het gebruik van de KFG Dijkbekleding zijn verdere faciliteiten ontwikkeld voor het automatisch uitvoeren van alle berekeningen die nodig zijn voor het vaststellen van de deelkostenfuncties Dijkversterking voor alle dijkvakken. Verdere procedures voorzien in het aggregeren van de totale kostenfuncties en het beschikbaar maken van de kostenfuncties en bijbehorende informatie in de juiste vorm voor het verdere gebruik in de Kosten-Baten Analyse (OptimaliseRing). Deze zaken worden verder beschreven in paragraaf 2.2.4.

E Kostenfunctie Generator Kunstwerken

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen en de ontwikkeling van de kostenfuncties per dijkvak is een Kostenfunctie Generator (KFG) Kunstwerken ontwikkeld. In de KFG Kunstwerken worden per dijkvak alle noodzakelijke berekeningen uitgevoerd om te komen tot de bepaling van de investeringskosten van het geheel aan maatregelen voor de versterking van de verschillende kunstwerken die zich in het betreffende dijkvak bevinden. Het volgende geeft een overzicht van de berekeningen die in de kostenfunctie generator worden beschouwd en van de wijze waarop de KFG is gerealiseerd.

E.1 Basisberekeningen in de KFG Kunstwerken

De KFG Kunstwerken is gebaseerd op een uitwerking van de volgende stappen:

- 1) Verwerking inventarisatie kunstwerken naar invoer per dijkvak.
- 2) Vaststelling generieke kostenfuncties per type en grootteklasse kunstwerk.
- 3) Toepassing generieke kostenfuncties en aggregatie per dijkvak.

1) Verwerking inventarisatie kunstwerken naar invoer per dijkvak

In de landsdekkende inventarisatie van kunstwerken door de Grontmij is van elk kunstwerk de locatie vastgesteld. Op grond daarvan is bepaald welke kunstwerken zich daadwerkelijk in de primaire waterkering bevinden. Alle relevante kunstwerken (de 8 beschouwde typen) zijn vervolgens toegedeeld aan de in totaal 652 dijkvakken die in het Kostenspoor zijn gedefinieerd. Ten slotte zijn de kunstwerken op grond van een nadere inventarisatie toegedeeld aan een aantal grootteklassen (zie par. 6.3.1). Op grond van de inventarisatiegegevens is per dijkvak een invoerregel bepaald waarin het aantal kunstwerken per type en grootteklasse is weergegeven. Voor elk van de dijkvakken is ook aangegeven welke stapgrootten voor de verhoging van de kruinhoogte en de waterstand van toepassing zijn. De laatste gegevens zijn daarbij ontleend aan de basisgegevens voor de hydraulische belasting zoals bepaald in het Kansenspoor (zie par. 3.2).

2) Vaststelling generieke kostenfuncties per type en grootteklasse kunstwerk

Vanuit de analyses van KOSWAT zijn 24 generieke basiskostenfuncties beschikbaar (voor 6 kunstwerktypen en 4 grootteklassen). Gezien het landelijke spectrum van voorkomende kunstwerken is besloten om voor de MKBA WV21 uit te gaan van 5 grootteklassen als volgt: zeer klein; klein; middel; groot; en special. Dat leidt tot in totaal 30 generieke kostenfuncties. De generieke kostenfuncties drukken de kosten per verhogingsstap uit als percentage van de vervangingswaarde. Binnen KOSWAT zijn de kostenfuncties per grootteklasse vastgesteld door het hanteren van een aantal aanvullende aannamen op grond van waargenomen trends. Op grond van deze trends nemen de in de kostenfunctie gehanteerde percentages toe als de grootteklasse afneemt en vice versa. Bij het uitbreiden van de kostenfuncties (van 4 naar 5 grootteklassen) is deze trend verder geëxtrapoleerd. Daarnaast heeft een verdere aanpassing van de kostenfuncties plaatsgevonden als volgt. Per type en grootteklasse van het kunstwerk wordt door middel van een systeemaanname bepaald voor welke omvang van de waterstandsverhoging (dH) het kunstwerk wordt geacht te moeten worden vervangen (in dat geval bedragen de kosten van aanpassing 100% van de vervangingswaarde). Tevens kan met een tweede systeemaanname worden aangegeven over welk dH-interval de kostenpercentages volgens de oorspronkelijke functie worden opgehoogd naar de vervangingswaarde (naar 100%). Hiermee wordt bereikt dat de functie over een zeker interval lineair naar de maximale waarde gaat en niet abrupt vanaf een willekeurige lage waarde naar

het maximum van 100% kan schieten. Door het 'verstandig' kiezen van deze systeem-aannamen wordt aldus een plausibel gedrag van de kostenfunctie bij het optreden van meer extreme waterstandsverhogingen bewerkstelligd. Bij minder extreme verhogingen zijn altijd de ongecorrigeerde waarden van de oorspronkelijk afgeleide kostencurven van toepassing.

3) Toepassing generieke kostenfuncties en aggregatie per dijkvak

De toepassing van de generieke kostenfuncties vindt plaats voor alle kunstwerken (naar type en grootteklasse) die zich binnen een dijkvak bevinden. De totale kosten per verhogingsstap ontstaan door vermenigvuldiging van het aantal kunstwerken (per type en grootteklasse) met het percentage dat voor de betreffende generieke kostenfunctie en de verhogingsstap van toepassing is, en met de bijbehorende vervangingswaarde. Vervolgens worden de resultaten voor de 30 combinaties van typen en grootteklassen (het aantal generieke kostenfuncties) per verhogingsstap opgeteld. De aansturing van de functies geschiedt op basis van de discrete waterstandsverhoging. Gegeven de stapgrootte voor kruinverhoging en waterstand wordt daartoe bij elke kruinverhogingsstap de discrete waterstandsverhoging (afgerond op 0,1 m) bepaald.

E.2 Realisatie KFG Kunstwerken

De KFG Dijkbekleding is ontwikkeld op basis van een EXCEL spreadsheet. Bij de opzet van de spreadsheet worden verschillende werkbladen onderscheiden, als volgt:

1. BG: basisgegevens kunstwerken per dijkvak.
2. BasisKF: de relevante informatie voor de basiskostenfuncties op grond van KOSWAT.
3. SA: systeemaannamen.
4. KFKW: berekening van de kostenfuncties kunstwerken per dijkvak.
5. Uitvoer.

Werkblad BG

In dit werkblad is voor elk van de 652 dijkvakken een invoerregel opgenomen waarin de aantallen kunstwerken per dijkvak (voor 7 typen en 5 grootteklassen) zijn opgenomen. De eerste 6 typen komen overeen met de 6 typen waterkerende kunstwerken waarvoor generieke kostenfuncties beschikbaar zijn. Binnen het zevende typen zijn de duikers en hevels opgenomen. Deze aantallen worden thans toegevoegd aan de inlaatsluizen (geassocieerd met de generieke kostenfuncties voor de inlaatsluizen). Ze zijn echter wel apart onderscheiden zodat hiervoor eventueel ook andere keuzen kunnen worden gemaakt. Aan de invoerregel per dijkvak in het werkblad BG zijn ook de stapgrootten voor de verhoging van kruin en waterstand toegevoegd.

Werkblad BasisKF

In dit werkblad zijn de 30 generieke kostenfuncties opgenomen zoals oorspronkelijk in KOSWAT bepaald, waarbij een uitbreiding is gemaakt van 24 naar 30 kostenfuncties (door het gaan van 4 naar 5 grootteklassen).

Werkblad SA

In het werkblad SA zijn voor het aanpassen en hanteren van de te hanteren generieke kostenfuncties (voor 6 kunstwerktypen en 5 grootteklassen) de volgende zaken vastgesteld:

- De dH reserve in m (gezien de gehanteerde uitgangspunten voor de toepassing van de MKBA WV21 altijd op 0 gesteld).
- De dH waarde in m waarvoor de kosten gelijk zijn aan de vervangingswaarde (100%).
- Het dH interval in m voor het geleidelijk 'toegroeien' van de kostenfunctie naar de vervangingswaarde (100%).

- De vervangingswaarde in K€ (gebaseerd op een schatting van de directe bouwkosten van het vervangende kunstwerk en een opslagfactor).

Werkblad KFKW

In het werkblad KFKW worden de generieke kostenfuncties aangepast op grond van de systeemaannamen over het punt (de dH) en het traject (het dH interval) waarbij de maximale waarde van 100% wordt bereikt. Vervolgens worden de aangepaste kostenfuncties toegepast op de geïnventariseerde aantallen kunstwerken naar type en grootte per dijkvak en worden de resultaten per type/grootte kunstwerk en verhogingsstap opgeteld. Dit leidt tot de totale kostenfunctie voor de kosten voor de aanpassing van de kunstwerken per dijkvak.

Werkblad Uitvoer

In het werkblad Uitvoer worden de eindresultaten van de kostenberekeningen voor de kunstwerken per dijkvak verzameld. Deze resultaten bestaan uit:

- Dijkvakcode en lengte dijkvak (m); stapgrootte voor kruinverhoging en maatgevende waterstand (m).
- De totale investeringskosten per kruinverhogingsstap (voor 20 stappen).
- De totale investeringskosten per km dijkvak per kruinverhogingsstap (voor 20 stappen).

Voor het gebruik van de KFG Kunstwerken zijn verdere faciliteiten ontwikkeld voor het automatisch uitvoeren van alle berekeningen die nodig zijn voor het vaststellen van de deelskostenfuncties kunstwerken voor alle dijkvakken. Verdere procedures voorzien in het aggregeren van de totale kostenfuncties en het beschikbaar maken van de kostenfuncties en bijbehorende informatie in de juiste vorm voor het verdere gebruik in de MKBA (OptimaliseRing). Deze zaken worden verder beschreven in paragraaf 2.2.4.

F Prijzenbestand Kostenspoor

Voor de uitvoering van de kostenberekeningen in het kostenspoor van de MKBA WV21 is in samenwerking tussen Deltares en DHV een 'Prijzenbestand Kostenspoor' ontwikkeld. Het Prijzenbestand Kostenspoor geeft een volledig en gestructureerd overzicht van alle benodigde eenheidsprijzen en opslagfactoren die van belang zijn voor de berekeningen in de verschillende kostenfunctie generatoren. Daarbij zijn alle te hanteren eenheidsprijzen geïdentificeerd door middel van een eenduidige codering en is ook van alle prijzen een duidelijke definitie en onderbouwing gegeven.

Het door DHV ontwikkelde Prijzenbestand Kostenspoor is gerealiseerd in de vorm van een Excel bestand, waarin de volgende, gecodeerde tabbladen zijn onderscheiden:

| | |
|-------------|------------------------------|
| 000 | Handleiding. |
| 010 | Logboek. |
| 100 | Keuzeparameters. |
| 200 | Prijzenboek. |
| 210 | Indexreeksen CROW. |
| 300 | Opslagfactor Bouwkosten. |
| 310 | Opslagfactor Vastgoedkosten. |
| 400 | Schetsontwerpen. |
| 405 | CB-Scherm. |
| 410 | Diepwand. |
| 415 | Op- en afrit. |
| 500 | Deelfuncties. |
| 501 t/m 512 | Grafieken |

000 Handleiding

De spreadsheet is voorzien van een eenvoudige handleiding waarin een overzicht is gegeven van de inhoud van de spreadsheet; een beknopte beschrijving van het proces van de totstandkoming van het Prijzenbestand; en een gedetailleerd overzicht van alle mogelijke kostenposten die aan de verschillende gehanteerde opslagfactoren ten grondslag liggen.

010 Logboek

In het logboek zijn steeds de wijzigingen aangegeven t.o.v. de vorige versie. Aan het uiteindelijk gehanteerde prijzenbestand zijn twee eerdere versies vooraf gegaan.

100 Keuzeparameters

In dit tabblad is ruimte geboden voor het opnemen van de keuzeparameters die variabel zijn bij het bepalen van de eenheidsprijzen en opslagfactoren. Op dit moment is hierin slechts een enkele keuzeparameter opgenomen, te weten de keuze of de BTW wel of niet moet worden opgenomen in de te hanteren opslagfactoren. Voor de kostenberekeningen in het kader van het Kostenspoor WV21 is de BTW niet meegenomen.

200 Prijzenboek

Aan het prijzenboek is invulling gegeven op grond van een inventarisatie van alle voor het kostenspoor benodigde eenheidsprijzen. Daarbij zijn verschillende soorten en niveaus van eenheidsprijzen onderscheiden. Naast eenheidsprijzen voor enkelvoudige handelingen, hoeveelheden of onderdelen kan het daarbij ook gaan om 'samengestelde' eenheidsprijzen in

de zin van ramingen voor specifieke deelmaatregelen waaraan op zich weer een aantal kostencomponenten en eenheidsprijzen ten grondslag ligt. Voor bepaalde eenheidsprijzen geldt dat ze zijn gespecificeerd als functie van de afmetingen van de maatregelcomponent. Dat geldt bijvoorbeeld voor de specificatie van de kosten van een aantal specifieke constructieve maatregelen (zoals CB-wand, damwand, diepwand en kistdam) waarbij de eenheidsprijzen (de directe bouwkosten) als functie van de verticale lengte van het constructieve element in het prijzenbestand zijn vastgesteld. Voor de concrete invulling van het Prijzenboek is gebruik gemaakt van een meer algemeen, binnen DHV beschikbaar, kostendatabestand. In dit bestand worden eenheidsprijzen opgebouwd en onderbouwd met materiaaltarieven, materieeltarieven, lonen en producties. Deze tarieven zijn opgenomen in het zogenaamde Moederdatabestand van DHV.

De eenheidsprijzen zoals opgenomen in het Prijzenboek worden onderscheiden naar de volgende categorieën:

- Eenheidsprijzen bekende directe bouwkosten:
 - Algemene werkzaamheden.
 - Sloop opstallen.
 - Grondverzet.
 - Taludbekleding.
 - Wegen, fietspaden en op-/afritten.
 - Damwandconstructies.
 - Diepwandconstructies.
 - Aanvullende constructies voor dam- en diepwanden boven maaiveld.
 - Kistdamconstructies.
 - Cementbentonietschermen (CB-schermen).
 - Demontabele keringen.
 - Kostenfuncties (directe bouwkosten).
- Eenheidsprijzen bekende directe vastgoedkosten:
 - Grondverwerving.
 - Aankoop opstallen.

Tevens zijn in het Prijzenboek opgenomen de gedetailleerde percentages ter bepaling van de (totale) opslagfactor voor het vaststellen van de investeringskosten op grond van resp. de bekende directe bouwkosten en de bekende directe vastgoedkosten. Voor de eerste wordt daarbij een onderscheid gemaakt naar drie verschillende opslagfactoren voor:

- Grond - grond versterkingen.
- Grond - constructief versterkingen.
- Constructief - constructief versterkingen.

210 Indexreeksen CROW

De prijzen in het Prijzenboek kunnen op twee manieren worden geïndexeerd:

- Op grond van een nauwkeurige indexering (en actualisering) van de tarieven in het Moederbestand van DHV (dit gebeurt tweemaal per jaar door DHV). Op basis van het nieuwe Moederbestand wordt het Kostendatabestand van DHV geïndexeerd. De nieuwe eenheidsprijzen kunnen daarna worden ingelezen in het Prijzenbestand Kostenspoor voor WV21. Ook de samengestelde eenheidsprijzen worden dan automatisch geïndexeerd.
- Op grond van een meer globale indexering in het Prijzenbestand Kostenspoor zelf, door middel van een gemiddelde samengestelde gewogen index die is afgeleid van CROW-

indexreeksen. Deze indexering is minder ingrijpend en kan in principe door iedereen worden uitgevoerd, mits de CROW-indexreeksen worden bijgehouden.

De laatste reeksen zijn in een afzonderlijk tabblad van het Prijzenbestand Kostenspoor opgenomen. De CROW indexreeksen worden maandelijks gepubliceerd door de CROW. Tevens staan ze regelmatig in de Cobouw. Het Prijzenboek kan worden doorgerekend op basis van een samengestelde index welke in het tabblad automatisch wordt gegenereerd nadat de CROW-indexreeksen zijn ingevoerd. De prijzen kunnen eenvoudig worden geïndexeerd door de datum 'naar prijspeil' aan te passen in het tabblad Prijzenboek. De index wordt dan automatisch geactualiseerd en doorberekend in de uiteindelijke eenheidsprijs.

300 en 310: Opslagfactoren Bouwkosten en Vastgoedkosten

In deze tabbladen worden de opslagfactoren berekend voor de omzetting van resp. de bekende directe bouwkosten en de bekende directe vastgoedkosten naar het niveau van investeringskosten. De berekening van de opslagfactoren vindt plaats op grond van een gedetailleerde specificatie van deelpercentages voor verschillende aanvullende kosten die in de betreffende tabbladen tot een totale opslagfactor worden verwerkt. De specificatie van de gedetailleerde percentages vindt plaats in het Prijzenboek.

Bij de directe bouwkosten wordt voor de KFG Dijkversterking een nader onderscheid gemaakt naar: grondmaatregelen bij uitgangssituatie grondrijk (grond-grond versterkingen); constructieve maatregelen bij uitgangssituatie grondrijk (grond-constructief versterkingen); en constructieve maatregelen bij uitgangssituatie constructief (constructief-constructief versterkingen). In het Prijzenboek kan voor elk van deze directe kostenposten een afzonderlijke invulling voor de gedetailleerde percentages worden gegeven. Daarnaast wordt een afzonderlijke opslagfactor bepaald voor vastgoedkosten. Omdat het hierbij uitsluitend gaat om de kosten van grondaankoop wordt deze factor ook gebruikt als opslagfactor voor de kosten van LNC-compensaties (die op basis van vervangende grondaankopen worden bepaald). De invulling van de gedetailleerde percentages voor de berekening van de opslagfactoren zijn in het Prijzenboek gegeven voor drie typering van de complexiteit en uitvoeringsomstandigheden van het werk in termen van: 'makkelijk', 'gemiddeld' en 'moeilijk' (waarbij de totale opslagfactoren groter worden naarmate de moeilijkheidsgraad toeneemt). Dit leidt ertoe dat in het prijzenbestand in totaal 12 verschillende opslagfactoren worden onderscheiden: te weten voor vier directe kostenposten (de bovengenoemde drie typen directe bouwkosten en de kosten voor grondaankoop ten behoeve van vastgoed/compensaties) en voor drie typering van de complexiteit van het werk. Voor elke gedetailleerde invulling van de achterliggende kostenposten worden deze 12 opslagfactoren direct in het Prijzenboek gegenereerd. Voor de ontwikkeling van de huidige kostenfuncties is hier op grond van de thans meest gebruikelijke schattingen door DHV invulling aan gegeven. Het volgende geeft een beeld van de aard van de kostenposten die door middel van het gebruik van de opslagfactoren zijn afgedekt.

Kostenposten afgedekt door opslagfactor investeringskosten/bekende directe bouwkosten:

- Nader te detailleren directe bouwkosten, zoals bijvoorbeeld: het verwijderen en afvoeren van obstakels op de bouwplaats; het aanbrengen van tijdelijke voorzieningen; het treffen van verkeersmaatregelen tijdens de uitvoering.
- Indirecte bouwkosten, zoals bijvoorbeeld: kosten van aan-/afvoermaterieel; algemene bouwplaatskosten (keten, parkeerplaats, hekwerk, e.d.); uitvoeringskosten en algemene kosten aannemer; winstopslag.

- Directe engineeringkosten zoals bijvoorbeeld: apparaatskosten opdrachtgever; kosten van aanbesteding en gunning; project management en overleg; ontwerp, onderzoek en berekeningen; toezicht; contract en kwaliteitsmanagement.
- Directe overige bijkomende kosten zoals bijvoorbeeld: kosten van vergunningen; het verleggen van kabels en leidingen; planschade en compensaties.
- Echt object- en projectonvoorzien.
- BTW (afhankelijk van keuze inclusief of exclusief BTW).

Kostenposten afgedekt door opslagfactor investeringskosten/bekende directe vastgoedkosten:

- Nader te detailleren directe vastgoedkosten zoals bijvoorbeeld: kosten voor inventariserend onderzoek bij kadaster; taxatie percelen; onderhandeling en overleg; huur tijdelijke percelen; afkoop pachtcontracten.
- Indirecte vastgoedkosten zoals bijvoorbeeld: vergoeding schade tijdens uitvoering; notariskosten; kadasterkosten; overdrachtsbelasting; rentekosten vastgoed.
- Echt object- en projectonvoorzien.
- BTW (afhankelijk van keuze inclusief of exclusief BTW).

400 Schetsontwerpen

Van een aantal belangrijke typen maatregelen die in de KFG Dijkversterking worden gehanteerd zijn in dit tabblad principeschetsen opgenomen. Het gaat hier om de volgende maatregelen:

- Stabiliteitsscherm in binnenberm of onder binnentalud - damwandconstructie.
- Stabiliteitsscherm in binnenberm of onder binnentalud - diepwandconstructie.
- Stabiliteitsscherm in binnenkruinlijn - damwandconstructie.
- Stabiliteitsscherm in binnenkruinlijn - diepwandconstructie.
- Erosiescherm in buitenkruinlijn - damwandconstructie.
- Stabiliteitsscherm in buitenkruinlijn - kistdamconstructie.
- Kwelscherm - cementbentoniet (CB) wand.
- Stabiliteitsscherm + kruinverhoging boven de kruin uitstekend in buitenkruinlijn - damwandconstructie.
- Stabiliteitsscherm + kruinverhoging boven de kruin uitstekend in buitenkruinlijn - diepwandconstructie.

De codering behorende bij een ontwerp is daarbij terug te vinden bij de coderingen in het Prijzenboek.

405, 410 en 415 CB-scherm, diepwand, op- en afrit

In deze tabbladen zijn de rekenmodellen opgenomen van een aantal meer complexe maatregelcomponenten waarvoor de berekening van een samengestelde eenheidsprijs noodzakelijk is. Deze rekenmodellen maken gebruik van de enkelvoudige eenheidsprijzen die zijn opgenomen in het Prijzenboek en behoeven geen aparte invoer. In het geval van indexering van de prijzen in het Prijzenboek worden ook de samengestelde eenheidsprijzen automatisch geïndexeerd.

500 Deelfuncties

Voor een aantal maatregelcomponenten zijn de eenheidsprijzen gegeven in de vorm van een kostenfunctie, in veel gevallen als functie van de verticale lengte van het constructieve element of van de kerende hoogte. De functies zijn bepaald door het fitten van een curve door de berekende prijzen voor een aantal discrete waarden van de verklarende variabele. In

het tabblad zijn de kosten voor de berekende discrete punten opgenomen (afkomstig uit het Prijzenboek) alsmede de berekende functiewaarden op grond van de vastgestelde kostenfuncties. Voor de vorm van de kostenfuncties is uitgegaan van een volledig generieke formulering waarmee elke gewenste functievorm kan worden verkregen. De parameters van de kostenfuncties voor de betreffende maatregelcomponenten zijn eveneens opgenomen in het Prijzenboek. In het blad Deelfuncties zijn kostenfuncties opgenomen voor de volgende maatregelcomponenten:

- Damwand (als functie van verticale lengte).
- Stalen gording aan damwand (als functie van zwaarte gordingprofiel).
- Deksloof op damwand (vaste prijs per m¹ damwand).
- Groutankers aan damwand (als functie van lengte anker).
- Kistdam (als functie van verticale lengte) - voor kistdambreedten van resp. 4 , 6 en 8 m.
- CB-Scherp (als functie van verticale lengte).
- Metselwerk ter bescherming van damwand uitstekend boven kruin (als functie van kerende hoogte boven maaiveld/kruin).
- Grondberm ter bescherming van damwand uitstekend boven kruin (als functie van kerende hoogte boven maaiveld/kruin).
- Op- en afrit (als functie van hoogte boven maaiveld).
- Demontabele kering (als functie van kerende hoogte boven maaiveld/kruin).
- Kleppenkering (als functie van kerende hoogte boven maaiveld/kruin).

501 t/m 512 Grafieken

In afzonderlijke tabbladen zijn de grafieken gegeven van de kostenfuncties zoals in het voorgaande bepaald.

G Resultaten kostenberekening basisvariant

In onderstaande tabel zijn per dijkkringtraject de lengte (km) en de toegepaste decimeringshoogtes op de waterstand (DHW) en het HBN/kruin (DHK) gerapporteerd. Tevens staan in de tabel de parameters voor de exponentiële kostenfunctie gegeven, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Vervolgens de kosten op een traject voor (kruin)verhogingsstappen van achtereenvolgens 25, 50, 100 en 200 cm en de verhoging van 1 decimeringshoogte. Tenslotte in de laatste kolom het toe te passen percentage voor extra beheer en onderhoud, zoals beschreven in paragraaf 2.2.5.

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Extra B&O (%) |
|--------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 1-1-1 | 3,93 | 51 | 65 | 0,00131 | 3,58 | 0,17 | 8 | 13 | 24 | 49 | 16 | 0,5 |
| 2-1-1 | 16,59 | 45 | 64 | 0,00152 | 2,92 | 0,84 | 25 | 48 | 101 | 231 | 62 | 0,6 |
| 3-1-1 | 14,00 | 39 | 54 | 0,00095 | 0,50 | 0,75 | 20 | 40 | 83 | 183 | 43 | 0,5 |
| 4-1-1 | 1,34 | 40 | 52 | 0,00336 | 3,79 | 0,03 | 5 | 6 | 9 | 17 | 6 | 0,5 |
| 5-1-1 | 1,00 | 46 | 65 | 0,00126 | 0,62 | 0,04 | 2 | 3 | 5 | 10 | 3 | 0,6 |
| 5-1-2 | 25,10 | 46 | 65 | 0,00336 | 16,61 | 0,67 | 36 | 59 | 117 | 295 | 75 | 0,6 |
| 6-1-1 | 2,70 | 48 | 78 | 0,00255 | 1,11 | 0,09 | 4 | 6 | 13 | 32 | 10 | 0,6 |
| 6-1-2 | 8,95 | 49 | 80 | 0,00119 | 23,08 | 0,41 | 34 | 46 | 72 | 134 | 62 | 0,4 |
| 6-2-1 | 57,39 | 56 | 88 | 0,00095 | 74,98 | 2,92 | 152 | 232 | 404 | 797 | 361 | 0,5 |
| 6-2-2 | 27,44 | 60 | 92 | 0,00095 | 32,14 | 1,29 | 66 | 101 | 177 | 351 | 164 | 0,6 |
| 6-3-1 | 72,47 | 44 | 74 | 0,00282 | 57,84 | 2,61 | 132 | 217 | 423 | 1020 | 309 | 0,5 |
| 6-4-1 | 14,79 | 29 | 58 | 0,00157 | 8,02 | 0,44 | 20 | 33 | 61 | 132 | 37 | 0,4 |
| 6-4-2 | 9,45 | 22 | 32 | 0,00336 | 0,63 | 0,23 | 7 | 15 | 34 | 93 | 9 | 0,4 |
| 6-4-3 | 9,65 | 22 | 32 | 0,00273 | 5,30 | 0,36 | 15 | 27 | 54 | 133 | 18 | 0,5 |
| 6-4-4 | 19,06 | 27 | 40 | 0,00095 | 4,16 | 0,37 | 14 | 24 | 45 | 95 | 20 | 0,5 |
| 6-4-5 | 8,70 | 45 | 55 | 0,00230 | 13,93 | 0,27 | 22 | 31 | 52 | 109 | 33 | 0,4 |
| 7-1-1 | 31,54 | 41 | 97 | 0,00114 | 33,76 | 0,71 | 53 | 74 | 118 | 222 | 115 | 0,3 |
| 7-1-2 | 13,00 | 56 | 85 | 0,00239 | 5,48 | 0,24 | 12 | 20 | 38 | 87 | 32 | 0,4 |
| 7-1-3 | 11,24 | 25 | 25 | 0,00095 | 8,39 | 0,38 | 18 | 28 | 51 | 101 | 18 | 0,6 |
| 8-1-1 | 5,15 | 64 | 72 | 0,00095 | 9,14 | 0,18 | 14 | 19 | 30 | 54 | 24 | 0,4 |
| 8-1-2 | 12,42 | 55 | 100 | 0,00095 | 22,16 | 0,32 | 31 | 40 | 60 | 104 | 60 | 0,3 |
| 8-1-3 | 17,56 | 44 | 108 | 0,00095 | 13,93 | 0,35 | 23 | 33 | 54 | 101 | 57 | 0,3 |
| 8-1-4 | 5,19 | 34 | 93 | 0,00095 | 16,07 | 0,19 | 21 | 27 | 39 | 66 | 37 | 0,3 |
| 8-2-1 | 23,38 | 23 | 57 | 0,00336 | 80,00 | 0,13 | 91 | 103 | 131 | 210 | 106 | 0,1 |
| 8-2-2 | 5,62 | 21 | 43 | 0,00336 | 13,10 | 0,05 | 16 | 18 | 25 | 45 | 18 | 0,1 |
| 8-2-3 | 25,54 | 39 | 45 | 0,00336 | 41,87 | 0,52 | 60 | 80 | 131 | 286 | 76 | 0,3 |
| 9-1-1 | 8,01 | 26 | 38 | 0,00336 | 12,52 | 0,19 | 19 | 26 | 44 | 99 | 22 | 0,4 |
| 9-1-2 | 34,73 | 30 | 40 | 0,00336 | 39,02 | 0,38 | 53 | 68 | 107 | 224 | 62 | 0,3 |
| 10-1-1 | 3,73 | 17 | 56 | 0,00330 | 6,20 | 0,01 | 7 | 8 | 10 | 17 | 8 | 0,2 |
| 10-1-2 | 11,16 | 13 | 43 | 0,00336 | 23,88 | 0,06 | 28 | 32 | 42 | 70 | 31 | 0,2 |
| 10-1-3 | 19,48 | 30 | 35 | 0,00336 | 30,20 | 0,21 | 38 | 48 | 71 | 140 | 42 | 0,2 |
| 10-1-4 | 13,35 | 26 | 39 | 0,00336 | 14,35 | 0,26 | 23 | 33 | 57 | 132 | 28 | 0,3 |
| 11-1-1 | 4,69 | 64 | 123 | 0,00095 | 4,64 | 0,12 | 8 | 11 | 19 | 36 | 22 | 0,5 |
| 11-1-2 | 21,38 | 24 | 42 | 0,00095 | 98,39 | 0,47 | 113 | 128 | 160 | 233 | 123 | 0,3 |
| 11-1-3 | 6,81 | 13 | 37 | 0,00336 | 21,05 | 0,03 | 24 | 27 | 34 | 53 | 25 | 0,1 |
| 12-1-1 | 11,61 | 50 | 84 | 0,00167 | 2,87 | 0,56 | 18 | 33 | 69 | 160 | 57 | 0,5 |
| 12-1-2 | 20,69 | 22 | 41 | 0,00095 | 6,77 | 0,52 | 20 | 34 | 64 | 134 | 29 | 0,5 |
| 13-1-1 | 12,43 | 50 | 72 | 0,00117 | 6,51 | 0,71 | 25 | 45 | 87 | 188 | 63 | 0,5 |
| 13-1-2 | 2,63 | 50 | 64 | 0,00336 | 34,70 | 0,00 | 38 | 41 | 49 | 70 | 43 | 0,4 |
| 13-1-3 | 5,61 | 49 | 67 | 0,00155 | 2,60 | 0,35 | 12 | 22 | 44 | 99 | 29 | 0,5 |
| 13-1-4 | 5,68 | 60 | 243 | 0,00095 | 14,40 | 0,17 | 19 | 24 | 34 | 57 | 69 | 0,3 |
| 13-2-1 | 26,43 | 22 | 41 | 0,00336 | 80,22 | 0,50 | 101 | 125 | 183 | 355 | 116 | 0,3 |

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Extra B&O (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 13-2-2 | 29,92 | 22 | 41 | 0,00336 | 73,25 | 0,71 | 99 | 129 | 202 | 422 | 117 | 0,3 |
| 13-4-1 | 24,73 | 22 | 36 | 0,00336 | 125,14 | 0,48 | 149 | 177 | 243 | 434 | 161 | 0,3 |
| 13-4-2 | 15,30 | 21 | 32 | 0,00336 | 56,70 | 0,21 | 67 | 80 | 109 | 194 | 71 | 0,3 |
| 13a-1-1 | 1,53 | 21 | 21 | 0,00095 | 1,13 | 0,17 | 6 | 10 | 20 | 43 | 5 | 0,4 |
| 13a-1-2 | 6,42 | 21 | 26 | 0,00095 | 0,97 | 0,17 | 5 | 10 | 20 | 43 | 6 | 0,3 |
| 13a-1-3 | 3,26 | 21 | 26 | 0,00336 | 0,70 | 0,09 | 3 | 6 | 13 | 36 | 3 | 0,5 |
| 13a-1-4 | 1,63 | 21 | 21 | 0,00336 | 0,50 | 0,03 | 1 | 2 | 4 | 12 | 1 | 0,5 |
| 13b-1-1 | 8,63 | 22 | 29 | 0,00095 | 13,58 | 0,27 | 21 | 29 | 45 | 82 | 22 | 0,4 |
| 14-1-1 ⁴ | 2,82 | 92 | 300 | 0,00095 | 53,77 | 0,02 | 56 | 57 | 61 | 70 | 80 | 0,2 |
| 14-1-2 ⁴ | 1,64 | 92 | 300 | 0,00095 | 31,29 | 0,01 | 32 | 33 | 36 | 41 | 46 | 0,2 |
| 14-1-3 ⁴ | 1,40 | 92 | 346 | 0,00095 | 26,83 | 0,02 | 28 | 29 | 31 | 36 | 45 | 0,2 |
| 14-1-4 ⁴ | 5,00 | 83 | 289 | 0,00095 | 93,52 | 0,05 | 97 | 101 | 108 | 125 | 142 | 0,2 |
| 14-2-1 | 4,59 | 84 | 97 | 0,00095 | 8,95 | 0,21 | 15 | 20 | 33 | 61 | 32 | 0,2 |
| 14-3-1 | 26,03 | 84 | 84 | 0,00336 | 86,92 | 0,72 | 114 | 145 | 222 | 451 | 195 | 0,3 |
| 14-3-2 | 10,15 | 70 | 71 | 0,00104 | 141,13 | 0,35 | 154 | 167 | 196 | 261 | 179 | 0,3 |
| 15-1-1 | 23,06 | 14 | 35 | 0,00336 | 49,55 | 0,65 | 72 | 97 | 161 | 353 | 81 | 0,2 |
| 15-1-2 | 2,50 | 21 | 39 | 0,00336 | 19,77 | 0,07 | 23 | 27 | 37 | 66 | 26 | 0,3 |
| 15-1-3 | 17,21 | 29 | 32 | 0,00336 | 137,26 | 0,26 | 156 | 178 | 228 | 370 | 162 | 0,3 |
| 15-1-4 | 4,85 | 32 | 39 | 0,00286 | 53,43 | 0,06 | 59 | 65 | 79 | 116 | 62 | 0,3 |
| 16-1-1 | 32,23 | 15 | 43 | 0,00179 | 102,01 | 1,15 | 137 | 175 | 260 | 476 | 164 | 0,2 |
| 16-1-2 | 16,66 | 29 | 45 | 0,00239 | 47,76 | 0,45 | 63 | 79 | 118 | 222 | 76 | 0,2 |
| 16-1-3 | 10,59 | 35 | 45 | 0,00095 | 25,89 | 0,85 | 48 | 72 | 122 | 238 | 67 | 0,2 |
| 16-1-4 | 17,35 | 33 | 46 | 0,00095 | 237,63 | 0,71 | 261 | 286 | 339 | 458 | 282 | 0,3 |
| 16-1-5 | 9,39 | 16 | 42 | 0,00095 | 48,75 | 0,55 | 64 | 80 | 114 | 191 | 75 | 0,3 |
| 17-1-1 | 24,80 | 52 | 58 | 0,00336 | 79,12 | 0,16 | 90 | 103 | 133 | 216 | 107 | 0,2 |
| 17-1-2 | 8,56 | 43 | 44 | 0,00336 | 3,66 | 0,11 | 7 | 11 | 21 | 52 | 10 | 0,1 |
| 17-1-3 | 28,82 | 46 | 54 | 0,00336 | 28,98 | 0,61 | 48 | 70 | 126 | 296 | 74 | 0,1 |
| 18-1-1 | 5,24 | 75 | 88 | 0,00095 | 25,19 | 0,22 | 31 | 38 | 52 | 83 | 48 | 0,2 |
| 19-1-1 | 3,88 | 85 | 97 | 0,00095 | 38,24 | 0,17 | 44 | 49 | 61 | 87 | 60 | 0,2 |
| 19-1-2 | 4,26 | 105 | 120 | 0,00095 | 6,52 | 0,12 | 10 | 13 | 20 | 37 | 24 | 0,2 |
| 20-1-1 | 6,70 | 44 | 44 | 0,00313 | 2,99 | 0,19 | 8 | 15 | 30 | 76 | 13 | 0,3 |
| 20-1-2 | 14,13 | 76 | 83 | 0,00095 | 23,94 | 0,65 | 41 | 59 | 98 | 187 | 84 | 0,1 |
| 20-2-1 | 9,05 | 43 | 46 | 0,00095 | 5,97 | 0,38 | 16 | 26 | 48 | 98 | 24 | 0,2 |
| 20-2-2 | 5,03 | 44 | 46 | 0,00180 | 3,92 | 0,15 | 8 | 13 | 23 | 50 | 12 | 0,1 |
| 20-2-3 | 2,01 | 70 | 82 | 0,00258 | 0,93 | 0,03 | 2 | 3 | 6 | 13 | 5 | 0,2 |
| 20-3-1 | 7,18 | 44 | 44 | 0,00336 | 1,61 | 0,24 | 8 | 16 | 35 | 95 | 14 | 0,1 |
| 20-3-2 | 8,24 | 50 | 60 | 0,00199 | 6,92 | 0,22 | 13 | 20 | 36 | 77 | 23 | 0,2 |
| 20-3-3 | 3,47 | 62 | 80 | 0,00336 | 1,35 | 0,07 | 3 | 6 | 12 | 31 | 9 | 0,4 |
| 21-1-1 | 14,36 | 42 | 49 | 0,00336 | 9,10 | 0,36 | 20 | 32 | 64 | 160 | 32 | 0,2 |
| 21-1-2 | 15,68 | 43 | 43 | 0,00095 | 9,69 | 0,70 | 28 | 47 | 88 | 181 | 41 | 0,2 |
| 21-1-3 | 8,32 | 42 | 42 | 0,00336 | 6,66 | 0,18 | 12 | 19 | 35 | 84 | 16 | 0,2 |
| 21-1-4 | 15,12 | 38 | 38 | 0,00336 | 16,90 | 0,43 | 30 | 45 | 84 | 202 | 38 | 0,2 |
| 21-1-5 | 15,89 | 40 | 51 | 0,00336 | 8,79 | 0,45 | 22 | 37 | 75 | 193 | 38 | 0,2 |
| 22-1-1 | 14,30 | 41 | 45 | 0,00336 | 8,61 | 0,26 | 16 | 26 | 49 | 119 | 24 | 0,2 |
| 22-1-2 | 7,08 | 42 | 49 | 0,00336 | 6,61 | 0,16 | 11 | 17 | 31 | 75 | 17 | 0,2 |
| 22-1-3 | 8,33 | 42 | 47 | 0,00336 | 57,14 | 0,05 | 64 | 71 | 87 | 132 | 70 | 0,3 |
| 22-1-4 | 7,33 | 40 | 56 | 0,00099 | 109,34 | 0,27 | 119 | 129 | 151 | 200 | 132 | 0,3 |
| 24-1-1 | 15,31 | 14 | 35 | 0,00095 | 65,69 | 0,88 | 90 | 115 | 169 | 293 | 100 | 0,3 |
| 24-1-2 | 19,14 | 26 | 35 | 0,00336 | 17,20 | 0,19 | 24 | 31 | 50 | 107 | 27 | 0,1 |
| 24-1-3 | 11,87 | 42 | 61 | 0,00095 | 6,72 | 0,34 | 16 | 25 | 45 | 90 | 29 | 0,2 |
| 25-1-1 | 1,09 | 70 | 100 | 0,00095 | 2,86 | 0,04 | 4 | 5 | 8 | 13 | 8 | 0,6 |
| 25-1-2 | 2,00 | 69 | 219 | 0,00095 | 3,03 | 0,07 | 5 | 7 | 11 | 22 | 24 | 0,4 |
| 25-2-1 | 18,38 | 44 | 45 | 0,00336 | 7,61 | 0,30 | 16 | 27 | 52 | 131 | 24 | 0,3 |
| 25-2-2 | 8,42 | 44 | 50 | 0,00121 | 4,30 | 0,13 | 8 | 11 | 19 | 38 | 11 | 0,2 |
| 26-1-1 | 8,17 | 14 | 35 | 0,00096 | 8,85 | 0,20 | 14 | 20 | 32 | 59 | 16 | 0,3 |
| 26-1-2 | 0,85 | 60 | 90 | 0,00095 | 0,87 | 0,06 | 2 | 4 | 7 | 15 | 7 | 0,5 |
| 26-2-1 | 34,15 | 16 | 35 | 0,00336 | 24,53 | 0,66 | 45 | 68 | 126 | 306 | 53 | 0,4 |

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Extra B&O (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 27-1-1 | 16,07 | 16 | 34 | 0,00336 | 5,32 | 0,32 | 15 | 25 | 52 | 136 | 18 | 0,5 |
| 27-1-2 | 36,64 | 18 | 38 | 0,00336 | 16,61 | 0,77 | 39 | 65 | 131 | 335 | 52 | 0,5 |
| 28-1-1 | 23,78 | 19 | 36 | 0,00262 | 9,23 | 0,58 | 25 | 43 | 87 | 211 | 33 | 0,6 |
| 29-1-1 | 5,19 | 49 | 124 | 0,00210 | 21,95 | 0,21 | 29 | 36 | 52 | 96 | 62 | 0,3 |
| 29-1-2 | 0,75 | 49 | 86 | 0,00095 | 0,50 | 0,06 | 2 | 4 | 7 | 15 | 6 | 0,5 |
| 29-2-1 | 20,84 | 54 | 90 | 0,00119 | 62,15 | 0,98 | 89 | 118 | 181 | 328 | 167 | 0,5 |
| 30-1-1 | 24,19 | 60 | 106 | 0,00095 | 16,23 | 1,07 | 44 | 73 | 135 | 278 | 143 | 0,6 |
| 30-1-2 | 15,97 | 63 | 87 | 0,00095 | 10,58 | 0,91 | 34 | 59 | 112 | 233 | 97 | 0,6 |
| 30-1-3 | 14,29 | 22 | 44 | 0,00140 | 13,57 | 0,47 | 26 | 40 | 70 | 143 | 37 | 0,5 |
| 30-1-4 | 8,00 | 24 | 30 | 0,00095 | 2,84 | 0,24 | 9 | 15 | 29 | 61 | 10 | 0,6 |
| 31-1-1 | 20,13 | 69 | 128 | 0,00095 | 22,72 | 0,90 | 46 | 71 | 124 | 246 | 156 | 0,6 |
| 31-1-2 | 21,20 | 24 | 60 | 0,00216 | 7,46 | 0,51 | 21 | 37 | 73 | 169 | 43 | 0,5 |
| 31-1-3 | 7,29 | 24 | 30 | 0,00095 | 8,45 | 0,26 | 15 | 23 | 38 | 74 | 17 | 0,5 |
| 32-1-1 | 21,59 | 58 | 108 | 0,00099 | 8,97 | 0,99 | 34 | 61 | 119 | 252 | 129 | 0,6 |
| 32-1-2 | 3,01 | 53 | 114 | 0,00096 | 16,19 | 0,16 | 21 | 25 | 36 | 59 | 39 | 0,3 |
| 32-1-3 | 1,60 | 53 | 117 | 0,00109 | 1,85 | 0,08 | 4 | 6 | 11 | 23 | 13 | 0,4 |
| 32-1-4 | 3,44 | 52 | 119 | 0,00095 | 5,61 | 0,17 | 10 | 15 | 25 | 48 | 29 | 0,4 |
| 32-1-5 | 2,65 | 51 | 126 | 0,00117 | 6,74 | 0,11 | 10 | 13 | 20 | 37 | 24 | 0,2 |
| 32-1-6 | 0,53 | 50 | 122 | 0,00095 | 2,74 | 0,04 | 4 | 5 | 8 | 13 | 9 | 0,4 |
| 32-1-7 | 0,76 | 50 | 91 | 0,00336 | 0,61 | 0,02 | 1 | 2 | 4 | 10 | 4 | 0,3 |
| 32-2-1 | 19,86 | 64 | 128 | 0,00105 | 108,41 | 1,04 | 138 | 169 | 236 | 391 | 277 | 0,4 |
| 32-2-2 | 24,76 | 70 | 128 | 0,00095 | 25,22 | 1,00 | 52 | 79 | 138 | 273 | 174 | 0,6 |
| 34-1-1 | 26,72 | 43 | 61 | 0,00275 | 25,81 | 0,52 | 42 | 60 | 103 | 227 | 68 | 0,2 |
| 34-1-2 | 10,67 | 43 | 63 | 0,00280 | 9,74 | 0,20 | 16 | 22 | 39 | 86 | 26 | 0,2 |
| 34-1-3 | 9,90 | 42 | 42 | 0,00336 | 13,15 | 0,16 | 19 | 25 | 41 | 90 | 23 | 0,2 |
| 34a-1-1 | 2,76 | 42 | 73 | 0,00095 | 1,51 | 0,05 | 3 | 4 | 8 | 15 | 6 | 0,1 |
| 34a-1-2 | 7,18 | 42 | 42 | 0,00099 | 15,80 | 0,20 | 21 | 27 | 40 | 69 | 25 | 0,2 |
| 35-1-1 | 16,26 | 28 | 61 | 0,00214 | 13,91 | 0,30 | 23 | 32 | 54 | 113 | 37 | 0,2 |
| 35-1-2 | 12,27 | 42 | 42 | 0,00336 | 24,79 | 0,24 | 34 | 44 | 68 | 143 | 40 | 0,2 |
| 36-1-1 | 63,24 | 46 | 51 | 0,00336 | 36,64 | 0,72 | 59 | 86 | 152 | 355 | 87 | 0,3 |
| 36-1-2 | 17,23 | 46 | 55 | 0,00154 | 24,79 | 0,40 | 36 | 48 | 76 | 143 | 51 | 0,3 |
| 36-1-3 | 3,90 | 49 | 56 | 0,00336 | 3,88 | 0,06 | 6 | 8 | 14 | 31 | 9 | 0,2 |
| 36-1-4 | 11,37 | 47 | 53 | 0,00336 | 12,80 | 0,33 | 23 | 34 | 64 | 153 | 36 | 0,4 |
| 36-1-5 | 1,00 | 45 | 51 | 0,00095 | 1,43 | 0,01 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 0,5 |
| 36-1-6 | 2,78 | 46 | 50 | 0,00095 | 17,71 | 0,03 | 19 | 20 | 22 | 28 | 20 | 0,3 |
| 36-1-7 | 5,00 | 45 | 51 | 0,00336 | 3,43 | 0,06 | 5 | 8 | 13 | 30 | 8 | 0,3 |
| 36a-1-1 | 4,40 | 46 | 51 | 0,00154 | 2,39 | 0,07 | 4 | 6 | 11 | 23 | 7 | 0,3 |
| 37-1-1 | 1,36 | 45 | 54 | 0,00131 | 2,36 | 0,02 | 3 | 4 | 5 | 9 | 4 | 0,1 |
| 38-1-1 | 29,58 | 32 | 56 | 0,00095 | 75,45 | 0,91 | 101 | 127 | 183 | 312 | 133 | 0,2 |
| 38-2-1 | 2,52 | 45 | 54 | 0,00336 | 3,52 | 0,04 | 5 | 7 | 11 | 24 | 7 | 0,2 |
| 38-2-2 | 10,51 | 48 | 57 | 0,00202 | 19,62 | 0,16 | 25 | 31 | 44 | 78 | 32 | 0,2 |
| 38-2-3 | 2,16 | 49 | 58 | 0,00336 | 10,39 | 0,01 | 12 | 13 | 16 | 25 | 13 | 0,2 |
| 38-2-4 | 5,02 | 49 | 56 | 0,00095 | 15,69 | 0,21 | 21 | 27 | 40 | 70 | 29 | 0,3 |
| 39-1-1 | 4,75 | 48 | 51 | 0,00095 | 8,06 | 0,15 | 12 | 16 | 25 | 45 | 16 | 0,3 |
| 40-1-1 ¹ | 5,28 | 9 | 45 | 0,00336 | 7,42 | 0,01 | 8 | 10 | 12 | 20 | 9 | 0,1 |
| 40-2-1 ¹ | 6,38 | 58 | 63 | 0,00158 | 17,51 | 0,12 | 21 | 25 | 35 | 57 | 28 | 0,3 |
| 41-1-1 | 40,67 | 34 | 58 | 0,00095 | 97,71 | 1,00 | 126 | 155 | 217 | 360 | 164 | 0,2 |
| 41-1-2 ³ | 0,99 | 34 | 58 | 0,00336 | 1,69 | 0,03 | 3 | 4 | 7 | 15 | 4 | 0,1 |
| 41-2-1 | 43,81 | 44 | 52 | 0,00232 | 92,36 | 0,78 | 119 | 148 | 215 | 397 | 150 | 0,2 |
| 41-2-2 | 4,38 | 48 | 54 | 0,00168 | 6,93 | 0,13 | 11 | 15 | 24 | 47 | 15 | 0,2 |
| 42-1-1 | 8,08 | 32 | 59 | 0,00124 | 13,74 | 0,14 | 18 | 22 | 32 | 54 | 24 | 0,1 |
| 42-1-2 | 9,35 | 34 | 59 | 0,00095 | 21,82 | 0,27 | 29 | 37 | 54 | 92 | 40 | 0,2 |
| 42-1-3 ² | 42,60 | 32 | 59 | 0,00124 | 72,45 | 0,75 | 94 | 117 | 167 | 286 | 126 | 0,1 |
| 43-1-1 | 16,47 | 11 | 39 | 0,00096 | 35,13 | 0,40 | 46 | 58 | 83 | 140 | 53 | 0,3 |
| 43-1-2 | 7,68 | 12 | 38 | 0,00336 | 15,66 | 0,05 | 18 | 21 | 29 | 50 | 20 | 0,1 |
| 43-1-3 | 18,32 | 11 | 35 | 0,00336 | 30,84 | 0,23 | 40 | 50 | 75 | 149 | 44 | 0,1 |
| 43-1-4 | 17,02 | 11 | 34 | 0,00336 | 38,32 | 0,16 | 46 | 55 | 76 | 137 | 49 | 0,1 |

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Extra B&O (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 43-1-5 | 4,50 | 12 | 30 | 0,00336 | 6,97 | 0,04 | 9 | 10 | 15 | 28 | 9 | 0,1 |
| 43-1-6 | 10,79 | 18 | 41 | 0,00315 | 19,91 | 0,09 | 24 | 28 | 39 | 70 | 27 | 0,1 |
| 43-1-7 | 7,45 | 35 | 56 | 0,00336 | 12,29 | 0,06 | 15 | 18 | 25 | 47 | 19 | 0,1 |
| 43-1-8 | 41,64 | 34 | 60 | 0,00336 | 86,02 | 0,55 | 109 | 134 | 198 | 385 | 146 | 0,2 |
| 43-1-9 | 46,60 | 34 | 58 | 0,00095 | 122,13 | 1,45 | 162 | 204 | 294 | 499 | 218 | 0,2 |
| 44-1-1 | 32,48 | 12 | 36 | 0,00336 | 50,04 | 0,64 | 72 | 97 | 159 | 348 | 82 | 0,2 |
| 44-2-1 | 15,63 | 21 | 35 | 0,00095 | 18,44 | 0,36 | 28 | 38 | 60 | 110 | 32 | 0,4 |
| 44-2-2 | 3,25 | 20 | 23 | 0,00336 | 7,03 | 0,17 | 12 | 19 | 34 | 82 | 12 | 0,7 |
| 44-2-3 | 4,70 | 28 | 55 | 0,00233 | 6,41 | 0,04 | 8 | 10 | 13 | 24 | 10 | 0,4 |
| 45-1-1 | 5,35 | 12 | 37 | 0,00336 | 5,50 | 0,10 | 9 | 13 | 22 | 52 | 11 | 0,2 |
| 45-2-1 | 9,92 | 48 | 79 | 0,00322 | 18,89 | 0,21 | 26 | 34 | 55 | 115 | 46 | 0,5 |
| 45-2-2 | 7,52 | 15 | 24 | 0,00295 | 13,76 | 0,00 | 15 | 16 | 19 | 25 | 15 | 0,4 |
| 45-2-3 | 10,39 | 14 | 18 | 0,00336 | 9,42 | 0,05 | 12 | 14 | 21 | 39 | 11 | 0,4 |
| 46-1-1 | 1,10 | 36 | 56 | 0,00111 | 2,86 | 0,05 | 4 | 6 | 9 | 17 | 6 | 0,2 |
| 46-1-2 | 7,31 | 14 | 17 | 0,00095 | 26,39 | 0,29 | 34 | 43 | 61 | 102 | 32 | 0,2 |
| 47-1-1 | 9,56 | 20 | 29 | 0,00096 | 24,79 | 0,12 | 29 | 32 | 41 | 60 | 29 | 0,1 |
| 47-1-2 | 5,56 | 11 | 37 | 0,00194 | 60,58 | 0,00 | 64 | 67 | 74 | 89 | 65 | 0,2 |
| 48-1-1 | 5,60 | 29 | 53 | 0,00095 | 14,95 | 0,15 | 19 | 23 | 33 | 54 | 24 | 0,2 |
| 48-1-2 | 6,49 | 25 | 59 | 0,00336 | 10,75 | 0,06 | 13 | 16 | 23 | 44 | 17 | 0,1 |
| 48-1-3 | 5,50 | 20 | 50 | 0,00246 | 8,33 | 0,05 | 10 | 12 | 17 | 31 | 12 | 0,1 |
| 48-1-4 ² | 42,00 | 29 | 53 | 0,00095 | 114,24 | 1,12 | 146 | 179 | 249 | 410 | 183 | 0,2 |
| 48-2-1 | 5,61 | 18 | 44 | 0,00249 | 6,62 | 0,05 | 8 | 10 | 15 | 27 | 10 | 0,1 |
| 48-2-2 | 17,11 | 26 | 39 | 0,00095 | 35,85 | 0,26 | 43 | 51 | 68 | 107 | 48 | 0,2 |
| 48-2-3 | 13,06 | 25 | 43 | 0,00318 | 15,00 | 0,11 | 19 | 24 | 36 | 70 | 23 | 0,1 |
| 49-1-1 | 19,38 | 25 | 43 | 0,00336 | 28,57 | 0,20 | 36 | 46 | 68 | 134 | 43 | 0,2 |
| 49-1-2 | 14,32 | 25 | 43 | 0,00336 | 27,52 | 0,15 | 34 | 41 | 59 | 112 | 39 | 0,1 |
| 50-1-1 | 1,41 | 24 | 49 | 0,00096 | 3,66 | 0,02 | 4 | 5 | 6 | 9 | 5 | 0,1 |
| 50-1-2 | 8,45 | 25 | 42 | 0,00336 | 18,58 | 0,04 | 21 | 24 | 31 | 51 | 23 | 0,3 |
| 50-1-3 | 3,12 | 17 | 31 | 0,00095 | 3,27 | 0,01 | 4 | 4 | 5 | 7 | 4 | 0,2 |
| 51-1-1 | 3,15 | 17 | 29 | 0,00336 | 3,27 | 0,01 | 4 | 4 | 6 | 10 | 4 | 0,2 |
| 51-1-2 | 9,78 | 29 | 36 | 0,00336 | 5,41 | 0,05 | 7 | 9 | 14 | 28 | 8 | 0,1 |
| 51-1-3 | 10,63 | 29 | 36 | 0,00307 | 22,69 | 0,00 | 24 | 26 | 31 | 42 | 25 | 0,0 |
| 52-1-1 | 1,97 | 27 | 43 | 0,00336 | 1,57 | 0,02 | 2 | 3 | 5 | 10 | 3 | 0,2 |
| 52-1-2 | 61,31 | 27 | 40 | 0,00336 | 124,20 | 0,61 | 152 | 183 | 260 | 484 | 170 | 0,1 |
| 53-1-1 | 8,37 | 32 | 52 | 0,00336 | 4,00 | 0,07 | 6 | 9 | 15 | 34 | 9 | 0,1 |
| 53-1-2 | 4,43 | 28 | 47 | 0,00336 | 18,71 | 0,07 | 22 | 26 | 36 | 65 | 26 | 0,4 |
| 53-1-3 | 7,50 | 26 | 42 | 0,00203 | 11,97 | 0,16 | 17 | 22 | 34 | 65 | 20 | 0,1 |
| 53-1-4 | 20,69 | 29 | 48 | 0,00185 | 32,42 | 0,31 | 42 | 52 | 76 | 136 | 52 | 0,1 |
| 53-1-5 | 5,38 | 31 | 48 | 0,00095 | 7,31 | 0,08 | 10 | 12 | 17 | 28 | 12 | 0,3 |
| 53-1-6 | 32,12 | 31 | 34 | 0,00336 | 30,03 | 0,32 | 41 | 55 | 87 | 185 | 46 | 0,3 |
| 65-1-1 | 0,09 | 59 | 59 | 0,00095 | 0,50 | 0,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,1 |
| 65-1-2 | 5,04 | 58 | 62 | 0,00128 | 7,16 | 0,10 | 10 | 13 | 20 | 36 | 15 | 0,3 |
| 68dgr-1-1 | 1,33 | 63 | 71 | 0,00095 | 0,50 | 0,01 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 0,1 |
| 68dgr-1-2 | 0,58 | 64 | 72 | 0,00336 | 0,50 | 0,00 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0,0 |
| 68dgr-1-3 | 2,48 | 65 | 69 | 0,00226 | 1,10 | 0,02 | 2 | 2 | 4 | 8 | 3 | 0,1 |
| 68dgr-1-4 | 2,39 | 68 | 69 | 0,00139 | 1,34 | 0,04 | 2 | 4 | 6 | 13 | 5 | 0,1 |
| 68rvg-1-1 | 8,25 | 80 | 81 | 0,00095 | 24,22 | 0,18 | 29 | 35 | 46 | 73 | 42 | 0,4 |
| 86-1-1 | 1,52 | 68 | 70 | 0,00095 | 0,97 | 0,03 | 2 | 2 | 4 | 7 | 3 | 0,3 |
| 87-1-1 | 5,48 | 64 | 66 | 0,00299 | 6,33 | 0,06 | 9 | 11 | 17 | 35 | 13 | 0,3 |

50 Kosten in rood aangegeven betekent dat de beschouwde dijkverhoging hierbij groter is dan twee maal de decimeringshoogte. Kosten kunnen in dit geval onnauwkeurig zijn, omdat de MKBA kostenfunctie niet is gefit op discrete ramingen van dijkverhogingen groter dan twee maal de decimeringshoogte. Zie ook par. 2.2.4. In deze gevallen kan beter teruggerepen worden op de discrete ramingen.

¹ In alle analyses die zijn uitgevoerd binnen het kostenspoor is door een fout in de basisgegevens de codering van dijkringdelen 40-1 en 40-2 met elkaar verwisseld. In deze tabel zijn de juiste trajectcodes ten

behoefte van de MKBA weergegeven, echter wanneer teruggegrepen wordt op de onderliggende gegevens dient hiermee rekening gehouden te worden.

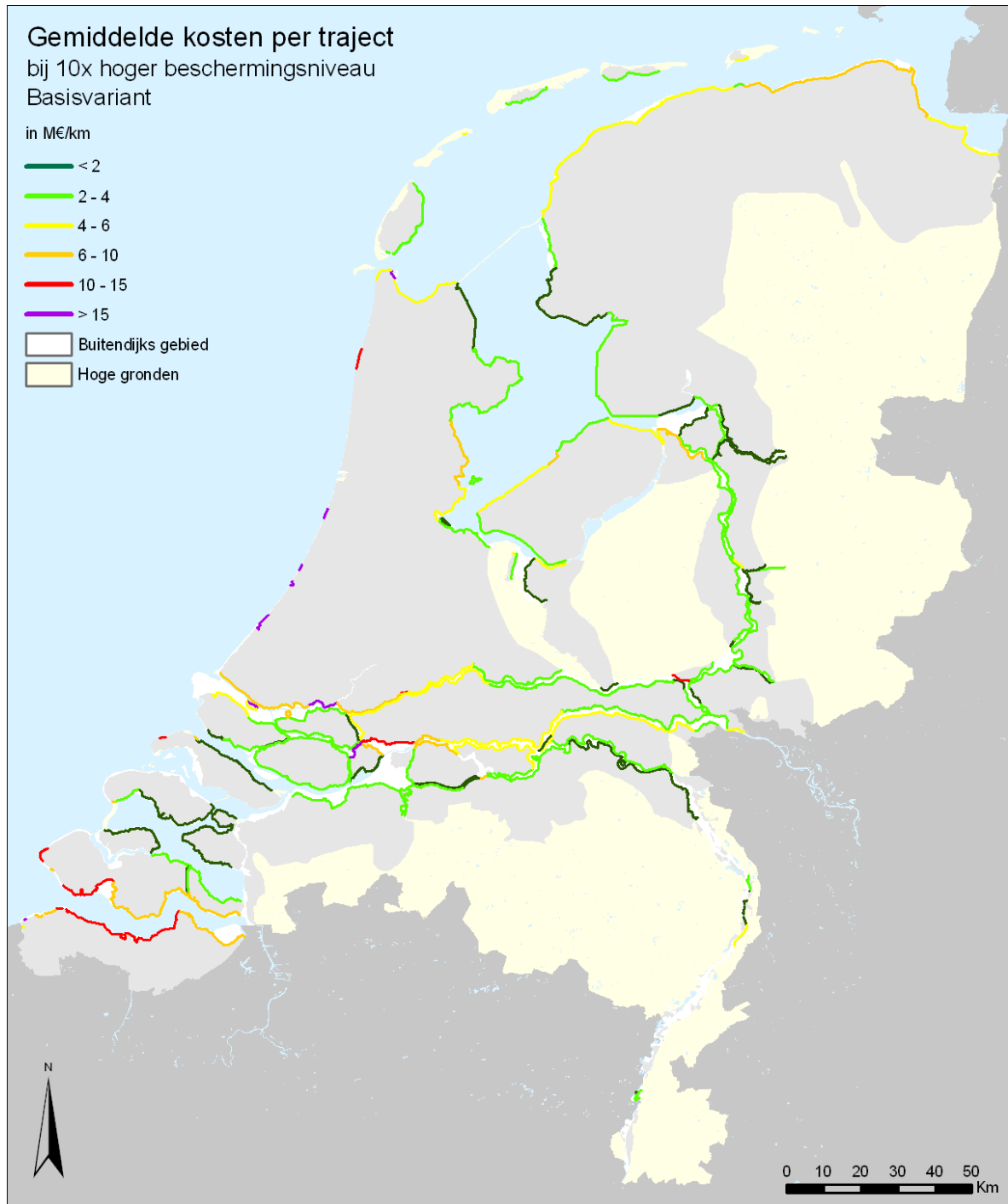
- ² Deze dijkkringtrajecten liggen in Duitsland, kostenramingen zijn gemaakt op basis van extrapolatie, zie par. 7.2.5.
- ³ Traject niet meegenomen in de MKBA
- ⁴ Kostenberekeningen en trajectlengtes bepaald zoals beschreven in par. 7.2.6

Gewijzigde parameters basisvariant 2011

Zie voor een toelichting op onderstaande tabel paragraaf 7.2.7

| Traject code | Lengte traject (km) | Totale lengte dijkkring -deel (km) | Parameters exponentiële kostenfunctie 2011 | | | Investeringskosten bij kruinverhoging decimeringshoogte (M€) | | Procentuele afwijking basisvariant 2011 tov 2010 | |
|--------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|--------|-----------|--------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|----------------|
| | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | Versie 2010 | Versie 2011 | Traject | Dijkkring-deel |
| 5-1-2 | 25,10 | 26,10 | 0,00300 | 47,40 | 0,61 | 75 | 106 | 42 | 40 |
| 7-1-2 | 13,00 | 55,77 | 0,00308 | 14,80 | 0,19 | 32 | 40 | 25 | 11 |
| 14-3-2 | 10,15 | 36,17 | 0,00336 | 93,78 | 0,09 | 179 | 128 | -29 | -19 |
| 25-2-1 | 18,38 | 26,80 | 0,00336 | 12,79 | 0,24 | 24 | 27 | 13 | 13 |
| 25-2-2 | 8,42 | - | 0,00200 | 6,39 | 0,10 | 11 | 13 | 13 | - |
| 40-1-1 | 5,28 | 5,28 | 0,00280 | 10,37 | 0,00 | 10 | 12 | 21 | 21 |
| 44-2-1 | 15,63 | 23,59 | 0,00096 | 26,70 | 0,30 | 32 | 39 | 20 | 14 |
| 44-2-2 | 3,26 | - | 0,00336 | 8,48 | 0,16 | 12 | 13 | 11 | - |
| 48-2-1 | 5,61 | 35,78 | 0,00336 | 8,02 | 0,03 | 10 | 11 | 10 | 22 |
| 48-2-2 | 17,11 | - | 0,00097 | 52,96 | 0,12 | 48 | 60 | 25 | - |
| 48-2-3 | 13,06 | - | 0,00104 | 18,29 | 0,18 | 23 | 27 | 19 | - |

H Kaart kostenberekening basisvariant



I Resultaten kostenberekening tweede referentie

In onderstaande tabel zijn per dijkkringtraject de lengte (km) en de toegepaste decimeringshoogtes op de waterstand (DHW) en het HBN/kruin (DHK) gerapporteerd. Tevens staan in de tabel de parameters voor de exponentiële kostenfunctie gegeven, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Vervolgens de kosten op een traject voor (kruin)verhogingsstappen van achtereenvolgens 25, 50, 100 en 200 cm en de verhoging van 1 decimeringshoogte. Tenslotte in de laatste kolom het procentuele verschil in kosten met de eerste referentiesituatie (basisvariant) bij een kruinverhoging van één decimeringshoogte (factor 10 veiliger).

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Afw. DHK tov basis (%) |
|--------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 1-1-1 | 3,93 | 51 | 65 | 0,00095 | 4,93 | 0,18 | 10 | 15 | 25 | 49 | 18 | 9 |
| 2-1-1 | 16,59 | 45 | 64 | 0,00095 | 8,38 | 0,88 | 31 | 55 | 107 | 224 | 69 | 9 |
| 3-1-1 | 14,00 | 39 | 54 | 0,00095 | 6,77 | 0,73 | 26 | 46 | 88 | 186 | 49 | 10 |
| 4-1-1 | 1,34 | 40 | 52 | 0,00336 | 4,34 | 0,03 | 6 | 7 | 10 | 20 | 7 | 8 |
| 5-1-1 | 1,00 | 46 | 65 | 0,00239 | 0,81 | 0,03 | 2 | 3 | 5 | 11 | 3 | 3 |
| 5-1-2 | 25,10 | 46 | 65 | 0,00191 | 47,96 | 0,83 | 72 | 98 | 159 | 314 | 115 | 9 |
| 6-1-1 | 2,70 | 48 | 78 | 0,00269 | 1,72 | 0,09 | 4 | 7 | 15 | 35 | 11 | 11 |
| 6-1-2 | 8,95 | 49 | 80 | 0,00128 | 28,22 | 0,40 | 39 | 51 | 77 | 139 | 67 | 6 |
| 6-2-1 | 57,39 | 56 | 88 | 0,00095 | 113,34 | 2,84 | 189 | 268 | 437 | 824 | 395 | 9 |
| 6-2-2 | 27,44 | 60 | 92 | 0,00095 | 54,78 | 1,25 | 88 | 123 | 198 | 369 | 185 | 8 |
| 6-3-1 | 72,47 | 44 | 74 | 0,00216 | 81,19 | 2,97 | 164 | 256 | 470 | 1041 | 353 | 12 |
| 6-4-1 | 14,79 | 29 | 58 | 0,00096 | 26,83 | 0,38 | 37 | 48 | 71 | 124 | 52 | 20 |
| 6-4-2 | 9,45 | 22 | 32 | 0,00336 | 4,45 | 0,22 | 11 | 18 | 37 | 95 | 13 | 28 |
| 6-4-3 | 9,65 | 22 | 32 | 0,00095 | 15,70 | 0,33 | 24 | 34 | 53 | 98 | 27 | 23 |
| 6-4-4 | 19,06 | 27 | 40 | 0,00095 | 0,00 | 0,25 | 6 | 13 | 27 | 60 | 10 | 0 |
| 6-4-5 | 8,70 | 45 | 55 | 0,00178 | 22,31 | 0,27 | 30 | 39 | 59 | 109 | 41 | 25 |
| 7-1-1 | 31,54 | 41 | 97 | 0,00116 | 48,45 | 0,61 | 66 | 84 | 123 | 215 | 120 | -5 |
| 7-1-2 | 13,00 | 56 | 85 | 0,00294 | 13,72 | 0,19 | 20 | 27 | 43 | 91 | 38 | -6 |
| 7-1-3 | 11,24 | 25 | 25 | 0,00336 | 6,70 | 0,25 | 14 | 23 | 44 | 111 | 14 | -21 |
| 8-1-1 | 5,15 | 64 | 72 | 0,00095 | 10,05 | 0,22 | 16 | 22 | 36 | 66 | 28 | 19 |
| 8-1-2 | 12,42 | 55 | 100 | 0,00095 | 31,63 | 0,32 | 41 | 50 | 70 | 116 | 70 | 18 |
| 8-1-3 | 17,56 | 44 | 108 | 0,00095 | 39,84 | 0,44 | 52 | 65 | 93 | 156 | 97 | 35 |
| 8-1-4 | 5,19 | 34 | 93 | 0,00095 | 23,53 | 0,17 | 29 | 34 | 45 | 70 | 43 | 12 |
| 8-2-1 | 23,38 | 23 | 57 | 0,00336 | 79,01 | 0,24 | 93 | 108 | 145 | 251 | 113 | 4 |
| 8-2-2 | 5,62 | 21 | 43 | 0,00336 | 12,44 | 0,06 | 15 | 18 | 26 | 48 | 17 | -2 |
| 8-2-3 | 25,54 | 39 | 45 | 0,00336 | 37,42 | 0,61 | 57 | 81 | 138 | 314 | 76 | -1 |
| 9-1-1 | 8,01 | 26 | 38 | 0,00336 | 11,07 | 0,14 | 16 | 21 | 35 | 75 | 18 | -18 |
| 9-1-2 | 34,73 | 30 | 40 | 0,00336 | 39,90 | 0,50 | 57 | 77 | 125 | 273 | 68 | 13 |
| 10-1-1 | 3,73 | 17 | 56 | 0,00095 | 7,00 | 0,03 | 8 | 9 | 11 | 17 | 9 | 8 |
| 10-1-2 | 11,16 | 13 | 43 | 0,00095 | 28,90 | 0,37 | 39 | 49 | 72 | 124 | 46 | 53 |
| 10-1-3 | 19,48 | 30 | 35 | 0,00239 | 31,40 | 0,83 | 55 | 82 | 146 | 320 | 66 | 51 |
| 10-1-4 | 13,35 | 26 | 39 | 0,00330 | 17,78 | 0,58 | 35 | 55 | 106 | 260 | 46 | 52 |
| 11-1-1 | 4,69 | 64 | 123 | 0,00095 | 5,53 | 0,12 | 9 | 12 | 20 | 36 | 23 | 2 |
| 11-1-2 | 21,38 | 24 | 42 | 0,00195 | 98,65 | 0,47 | 116 | 135 | 177 | 285 | 129 | 5 |
| 11-1-3 | 6,81 | 13 | 37 | 0,00095 | 23,63 | 0,12 | 27 | 31 | 39 | 56 | 29 | 15 |
| 12-1-1 | 11,61 | 50 | 84 | 0,00200 | 0,00 | 0,51 | 13 | 28 | 62 | 152 | 51 | -13 |
| 12-1-2 | 20,69 | 22 | 41 | 0,00336 | 12,42 | 0,49 | 27 | 44 | 86 | 216 | 37 | 8 |
| 13-1-1 | 12,43 | 50 | 72 | 0,00105 | 31,51 | 0,65 | 49 | 67 | 107 | 198 | 84 | 8 |
| 13-1-2 | 2,63 | 50 | 64 | 0,00095 | 34,09 | 0,11 | 38 | 42 | 50 | 68 | 44 | 1 |
| 13-1-3 | 5,61 | 49 | 67 | 0,00217 | 6,44 | 0,32 | 15 | 25 | 48 | 109 | 32 | 10 |

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Afw. DHK tov basis (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 13-1-4 | 5,68 | 60 | 243 | 0,00095 | 35,42 | 0,14 | 40 | 45 | 55 | 77 | 88 | 24 |
| 13-2-1 | 26,43 | 22 | 41 | 0,00293 | 94,48 | 0,58 | 117 | 143 | 205 | 379 | 133 | 10 |
| 13-2-2 | 29,92 | 22 | 41 | 0,00336 | 91,79 | 0,68 | 118 | 149 | 223 | 445 | 137 | 12 |
| 13-4-1 | 24,73 | 22 | 36 | 0,00336 | 139,69 | 0,37 | 162 | 187 | 247 | 418 | 173 | 2 |
| 13-4-2 | 15,30 | 21 | 32 | 0,00095 | 70,35 | 0,40 | 82 | 95 | 121 | 182 | 86 | 9 |
| 13a-1-1 | 1,53 | 21 | 21 | 0,00095 | 3,31 | 0,10 | 6 | 9 | 15 | 29 | 6 | 1 |
| 13a-1-2 | 6,42 | 21 | 26 | 0,00095 | 1,36 | 0,16 | 6 | 10 | 19 | 41 | 6 | -2 |
| 13a-1-3 | 3,26 | 21 | 26 | 0,00336 | 0,89 | 0,05 | 2 | 4 | 9 | 23 | 2 | -12 |
| 13a-1-4 | 1,63 | 21 | 21 | 0,00336 | 0,07 | 0,03 | 1 | 2 | 5 | 12 | 1 | -23 |
| 13b-1-1 | 8,63 | 22 | 29 | 0,00095 | 13,88 | 0,25 | 20 | 27 | 42 | 76 | 22 | -3 |
| 14-1-1 ⁴ | 2,82 | 92 | 300 | 0,00095 | 53,77 | 0,02 | 56 | 57 | 61 | 70 | 80 | 0 |
| 14-1-2 ⁴ | 1,64 | 92 | 300 | 0,00095 | 31,29 | 0,01 | 32 | 33 | 36 | 41 | 46 | 0 |
| 14-1-3 ⁴ | 1,40 | 92 | 346 | 0,00095 | 26,83 | 0,02 | 28 | 29 | 31 | 36 | 45 | 0 |
| 14-1-4 ⁴ | 5,00 | 83 | 289 | 0,00095 | 93,52 | 0,05 | 97 | 101 | 108 | 125 | 142 | 0 |
| 14-2-1 | 4,59 | 84 | 97 | 0,00095 | 17,63 | 0,19 | 23 | 28 | 40 | 66 | 39 | 19 |
| 14-3-1 | 26,03 | 84 | 84 | 0,00170 | 89,20 | 1,20 | 124 | 162 | 248 | 463 | 219 | 24 |
| 14-3-2 | 10,15 | 70 | 71 | 0,00336 | 93,56 | 0,11 | 105 | 117 | 146 | 227 | 129 | 1 |
| 15-1-1 | 23,06 | 14 | 35 | 0,00172 | 53,89 | 0,92 | 80 | 109 | 174 | 336 | 92 | 21 |
| 15-1-2 | 2,50 | 21 | 39 | 0,00095 | 21,47 | 0,12 | 25 | 29 | 37 | 55 | 27 | 6 |
| 15-1-3 | 17,21 | 29 | 32 | 0,00095 | 141,10 | 0,78 | 165 | 189 | 241 | 360 | 171 | 5 |
| 15-1-4 | 4,85 | 32 | 39 | 0,00095 | 54,93 | 0,20 | 61 | 68 | 83 | 115 | 65 | 3 |
| 16-1-1 | 32,23 | 15 | 43 | 0,00095 | 121,47 | 1,68 | 167 | 215 | 318 | 553 | 202 | 23 |
| 16-1-2 | 16,66 | 29 | 45 | 0,00095 | 66,54 | 0,67 | 85 | 105 | 147 | 242 | 101 | 28 |
| 16-1-3 | 10,59 | 35 | 45 | 0,00095 | 40,03 | 0,87 | 63 | 88 | 140 | 260 | 83 | 20 |
| 16-1-4 | 17,35 | 33 | 46 | 0,00095 | 254,76 | 0,54 | 275 | 296 | 340 | 440 | 292 | 4 |
| 16-1-5 | 9,39 | 16 | 42 | 0,00095 | 62,56 | 0,58 | 79 | 96 | 133 | 216 | 90 | 21 |
| 17-1-1 | 24,80 | 52 | 58 | 0,00138 | 83,51 | 0,72 | 105 | 128 | 179 | 301 | 136 | 25 |
| 17-1-2 | 8,56 | 43 | 44 | 0,00336 | 3,80 | 0,07 | 6 | 9 | 15 | 35 | 8 | -14 |
| 17-1-3 | 28,82 | 46 | 54 | 0,00095 | 51,78 | 1,72 | 97 | 145 | 246 | 479 | 152 | 75 |
| 18-1-1 | 5,24 | 75 | 88 | 0,00095 | 22,88 | 0,23 | 29 | 36 | 51 | 84 | 47 | 4 |
| 19-1-1 | 3,88 | 85 | 97 | 0,00095 | 39,60 | 0,14 | 44 | 49 | 59 | 82 | 59 | -2 |
| 19-1-2 | 4,26 | 105 | 120 | 0,00095 | 7,21 | 0,18 | 12 | 17 | 28 | 53 | 33 | 38 |
| 20-1-1 | 6,70 | 44 | 44 | 0,00095 | 4,05 | 0,47 | 16 | 29 | 56 | 118 | 26 | 90 |
| 20-1-2 | 14,13 | 76 | 83 | 0,00095 | 22,24 | 0,56 | 37 | 53 | 86 | 162 | 74 | 0 |
| 20-2-1 | 9,05 | 43 | 46 | 0,00095 | 12,57 | 0,37 | 22 | 33 | 54 | 104 | 31 | 32 |
| 20-2-2 | 5,03 | 44 | 46 | 0,00095 | 7,40 | 0,16 | 12 | 16 | 26 | 47 | 15 | 34 |
| 20-2-3 | 2,01 | 70 | 82 | 0,00095 | 2,42 | 0,07 | 4 | 6 | 10 | 19 | 9 | 86 |
| 20-3-1 | 7,18 | 44 | 44 | 0,00095 | 5,12 | 0,35 | 14 | 24 | 44 | 92 | 22 | 63 |
| 20-3-2 | 8,24 | 50 | 60 | 0,00096 | 15,29 | 0,36 | 25 | 35 | 57 | 106 | 39 | 75 |
| 20-3-3 | 3,47 | 62 | 80 | 0,00285 | 5,25 | 0,10 | 8 | 12 | 20 | 45 | 17 | 79 |
| 21-1-1 | 14,36 | 42 | 49 | 0,00095 | 24,22 | 0,59 | 40 | 57 | 92 | 173 | 56 | 50 |
| 21-1-2 | 15,68 | 43 | 43 | 0,00114 | 9,84 | 0,64 | 27 | 44 | 83 | 173 | 39 | 2 |
| 21-1-3 | 8,32 | 42 | 42 | 0,00336 | 10,42 | 0,23 | 18 | 26 | 47 | 112 | 23 | 31 |
| 21-1-4 | 15,12 | 38 | 38 | 0,00277 | 18,22 | 0,52 | 33 | 51 | 93 | 213 | 42 | 22 |
| 21-1-5 | 15,89 | 40 | 51 | 0,00095 | 22,81 | 0,74 | 42 | 63 | 106 | 207 | 64 | 47 |
| 22-1-1 | 14,30 | 41 | 45 | 0,00095 | 18,34 | 0,73 | 38 | 58 | 101 | 200 | 54 | 86 |
| 22-1-2 | 7,08 | 42 | 49 | 0,00095 | 13,00 | 0,29 | 21 | 29 | 46 | 85 | 28 | 39 |
| 22-1-3 | 8,33 | 42 | 47 | 0,00336 | 59,66 | 0,12 | 68 | 78 | 101 | 165 | 77 | 7 |
| 22-1-4 | 7,33 | 40 | 56 | 0,00095 | 112,45 | 0,26 | 122 | 132 | 153 | 200 | 134 | 2 |
| 24-1-1 | 15,31 | 14 | 35 | 0,00095 | 74,98 | 0,84 | 98 | 123 | 175 | 294 | 108 | 8 |
| 24-1-2 | 19,14 | 26 | 35 | 0,00303 | 18,00 | 0,31 | 28 | 39 | 67 | 147 | 32 | 23 |
| 24-1-3 | 11,87 | 42 | 61 | 0,00095 | 14,01 | 0,31 | 22 | 31 | 49 | 91 | 35 | 20 |
| 25-1-1 | 1,09 | 70 | 100 | 0,00095 | 3,10 | 0,04 | 4 | 5 | 8 | 13 | 8 | -14 |
| 25-1-2 | 2,00 | 69 | 219 | 0,00095 | 6,86 | 0,07 | 9 | 11 | 15 | 26 | 28 | 17 |
| 25-2-1 | 18,38 | 44 | 45 | 0,00095 | 14,03 | 0,78 | 34 | 56 | 101 | 205 | 51 | 87 |
| 25-2-2 | 8,42 | 44 | 50 | 0,00113 | 5,43 | 0,39 | 16 | 26 | 50 | 105 | 26 | 106 |
| 26-1-1 | 8,17 | 14 | 35 | 0,00095 | 10,07 | 0,21 | 16 | 21 | 34 | 62 | 18 | 9 |

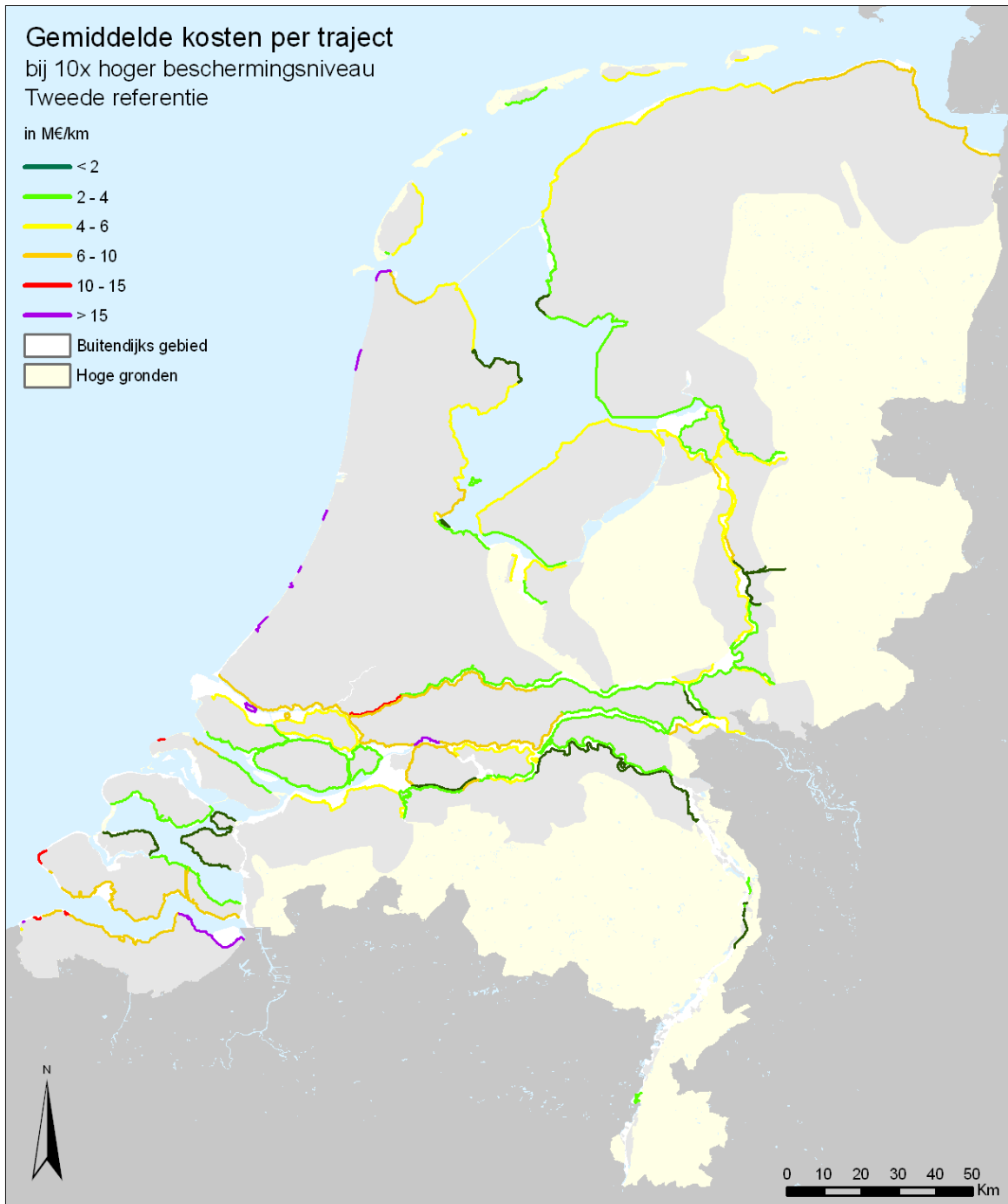
| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Afw. DHK tov basis (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 26-1-2 | 0,85 | 60 | 90 | 0,00095 | 2,20 | 0,06 | 4 | 5 | 9 | 16 | 8 | 1 |
| 26-2-1 | 34,15 | 16 | 35 | 0,00336 | 24,88 | 0,65 | 45 | 68 | 126 | 304 | 54 | -5 |
| 27-1-1 | 16,07 | 16 | 34 | 0,00336 | 6,40 | 0,31 | 16 | 26 | 53 | 136 | 19 | 7 |
| 27-1-2 | 36,64 | 18 | 38 | 0,00221 | 20,72 | 0,96 | 47 | 77 | 146 | 332 | 62 | 13 |
| 28-1-1 | 23,78 | 19 | 36 | 0,00213 | 11,04 | 0,62 | 28 | 47 | 91 | 207 | 36 | 9 |
| 29-1-1 | 5,19 | 49 | 124 | 0,00195 | 31,74 | 0,21 | 39 | 47 | 65 | 110 | 74 | 20 |
| 29-1-2 | 0,75 | 49 | 86 | 0,00095 | 1,51 | 0,06 | 3 | 5 | 8 | 16 | 7 | 15 |
| 29-2-1 | 20,84 | 54 | 90 | 0,00095 | 72,96 | 1,05 | 101 | 131 | 195 | 341 | 182 | 8 |
| 30-1-1 | 24,19 | 60 | 106 | 0,00095 | 32,51 | 1,06 | 60 | 90 | 153 | 296 | 160 | 11 |
| 30-1-2 | 15,97 | 63 | 87 | 0,00095 | 23,33 | 0,92 | 47 | 72 | 126 | 250 | 112 | 12 |
| 30-1-3 | 14,29 | 22 | 44 | 0,00095 | 16,79 | 0,49 | 30 | 43 | 73 | 140 | 40 | 13 |
| 30-1-4 | 8,00 | 24 | 30 | 0,00095 | 6,48 | 0,22 | 12 | 18 | 31 | 61 | 13 | 2 |
| 31-1-1 | 20,13 | 69 | 128 | 0,00095 | 43,00 | 0,87 | 66 | 91 | 143 | 264 | 175 | 10 |
| 31-1-2 | 21,20 | 24 | 60 | 0,00095 | 18,58 | 0,66 | 36 | 54 | 93 | 181 | 61 | 39 |
| 31-1-3 | 7,29 | 24 | 30 | 0,00095 | 17,57 | 0,23 | 24 | 30 | 45 | 77 | 25 | 5 |
| 32-1-1 | 21,59 | 58 | 108 | 0,00095 | 22,84 | 1,00 | 49 | 76 | 135 | 269 | 145 | 11 |
| 32-1-2 | 3,01 | 53 | 114 | 0,00288 | 22,68 | 0,07 | 26 | 30 | 40 | 66 | 43 | 10 |
| 32-1-3 | 1,60 | 53 | 117 | 0,00134 | 4,07 | 0,08 | 6 | 8 | 13 | 25 | 15 | 16 |
| 32-1-4 | 3,44 | 52 | 119 | 0,00095 | 9,52 | 0,17 | 14 | 19 | 29 | 52 | 33 | 13 |
| 32-1-5 | 2,65 | 51 | 126 | 0,00195 | 12,48 | 0,08 | 15 | 18 | 25 | 42 | 29 | 17 |
| 32-1-6 | 0,53 | 50 | 122 | 0,00095 | 4,95 | 0,04 | 6 | 7 | 9 | 15 | 11 | 18 |
| 32-1-7 | 0,76 | 50 | 91 | 0,00336 | 0,93 | 0,02 | 2 | 2 | 4 | 10 | 4 | 7 |
| 32-2-1 | 19,86 | 64 | 128 | 0,00134 | 144,83 | 0,93 | 174 | 205 | 272 | 432 | 313 | 13 |
| 32-2-2 | 24,76 | 70 | 128 | 0,00095 | 54,82 | 0,95 | 81 | 108 | 165 | 297 | 200 | 14 |
| 34-1-1 | 26,72 | 43 | 61 | 0,00095 | 37,36 | 1,15 | 68 | 100 | 168 | 324 | 114 | 59 |
| 34-1-2 | 10,67 | 43 | 63 | 0,00095 | 11,83 | 0,53 | 26 | 40 | 71 | 142 | 48 | 81 |
| 34-1-3 | 9,90 | 42 | 42 | 0,00095 | 14,23 | 0,52 | 28 | 42 | 73 | 144 | 38 | 64 |
| 34a-1-1 | 2,76 | 42 | 73 | 0,00095 | 2,30 | 0,05 | 4 | 5 | 8 | 16 | 7 | 8 |
| 34a-1-2 | 7,18 | 42 | 42 | 0,00164 | 16,14 | 0,18 | 21 | 27 | 40 | 72 | 25 | 1 |
| 35-1-1 | 16,26 | 28 | 61 | 0,00159 | 15,72 | 0,31 | 24 | 34 | 55 | 107 | 38 | 2 |
| 35-1-2 | 12,27 | 42 | 42 | 0,00150 | 24,82 | 1,24 | 58 | 93 | 172 | 367 | 82 | 104 |
| 36-1-1 | 63,24 | 46 | 51 | 0,00322 | 38,92 | 1,08 | 71 | 109 | 202 | 484 | 111 | 32 |
| 36-1-2 | 17,23 | 46 | 55 | 0,00205 | 24,94 | 0,55 | 41 | 58 | 98 | 203 | 62 | 22 |
| 36-1-3 | 3,90 | 49 | 56 | 0,00209 | 3,34 | 0,20 | 9 | 15 | 29 | 67 | 17 | 84 |
| 36-1-4 | 11,37 | 47 | 53 | 0,00298 | 12,22 | 0,57 | 29 | 47 | 93 | 229 | 50 | 42 |
| 36-1-5 | 1,00 | 45 | 51 | 0,00200 | 1,41 | 0,02 | 2 | 2 | 4 | 7 | 2 | 9 |
| 36-1-6 | 2,78 | 46 | 50 | 0,00336 | 16,15 | 0,02 | 18 | 20 | 25 | 38 | 20 | 1 |
| 36-1-7 | 5,00 | 45 | 51 | 0,00180 | 3,56 | 0,19 | 9 | 14 | 27 | 60 | 15 | 83 |
| 36a-1-1 | 4,40 | 46 | 51 | 0,00267 | 2,58 | 0,06 | 4 | 6 | 11 | 24 | 6 | 0 |
| 37-1-1 | 1,36 | 45 | 54 | 0,00118 | 2,45 | 0,02 | 3 | 4 | 5 | 9 | 4 | 2 |
| 38-1-1 | 29,58 | 32 | 56 | 0,00095 | 87,53 | 1,35 | 124 | 163 | 245 | 432 | 172 | 31 |
| 38-2-1 | 2,52 | 45 | 54 | 0,00336 | 3,96 | 0,04 | 5 | 7 | 11 | 24 | 7 | 4 |
| 38-2-2 | 10,51 | 48 | 57 | 0,00270 | 22,05 | 0,18 | 28 | 35 | 52 | 99 | 38 | 12 |
| 38-2-3 | 2,16 | 49 | 58 | 0,00095 | 10,16 | 0,05 | 12 | 13 | 17 | 25 | 14 | 5 |
| 38-2-4 | 5,02 | 49 | 56 | 0,00157 | 15,61 | 0,17 | 21 | 26 | 38 | 68 | 27 | -5 |
| 39-1-1 | 4,75 | 48 | 51 | 0,00287 | 7,52 | 0,31 | 16 | 26 | 51 | 123 | 27 | 66 |
| 40-1-1 ¹ | 5,28 | 9 | 45 | 0,00336 | 10,72 | 0,00 | 12 | 13 | 15 | 21 | 13 | 8 |
| 40-2-1 ¹ | 6,38 | 58 | 63 | 0,00137 | 16,31 | 0,15 | 21 | 25 | 36 | 61 | 24 | 2 |
| 41-1-1 | 40,67 | 34 | 58 | 0,00095 | 128,74 | 1,97 | 182 | 238 | 358 | 631 | 257 | 59 |
| 41-1-2 ³ | 0,99 | 34 | 58 | 0,00272 | 1,75 | 0,03 | 3 | 4 | 6 | 12 | 4 | -6 |
| 41-2-1 | 43,81 | 44 | 52 | 0,00238 | 91,37 | 0,75 | 117 | 145 | 211 | 389 | 148 | 2 |
| 41-2-2 | 4,38 | 48 | 54 | 0,00113 | 7,07 | 0,14 | 11 | 15 | 24 | 44 | 16 | 0 |
| 42-1-1 | 8,08 | 32 | 59 | 0,00095 | 17,78 | 0,29 | 26 | 34 | 52 | 92 | 37 | 57 |
| 42-1-2 | 9,35 | 34 | 59 | 0,00095 | 25,88 | 0,45 | 38 | 51 | 78 | 139 | 55 | 40 |
| 42-1-3 ² | 42,60 | 32 | 59 | 0,00095 | 93,73 | 1,54 | 135 | 179 | 272 | 486 | 195 | 57 |
| 43-1-1 | 16,47 | 11 | 39 | 0,00254 | 37,15 | 0,36 | 49 | 62 | 94 | 180 | 56 | 8 |
| 43-1-2 | 7,68 | 12 | 38 | 0,00275 | 15,73 | 0,09 | 19 | 23 | 32 | 58 | 21 | 8 |

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Afw. DHK tov basis (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 43-1-3 | 18,32 | 11 | 35 | 0,00336 | 30,48 | 0,37 | 43 | 58 | 95 | 206 | 49 | 14 |
| 43-1-4 | 17,02 | 11 | 34 | 0,00144 | 38,76 | 0,24 | 46 | 54 | 72 | 115 | 49 | 1 |
| 43-1-5 | 4,50 | 12 | 30 | 0,00336 | 6,76 | 0,02 | 8 | 9 | 12 | 20 | 8 | -9 |
| 43-1-6 | 10,79 | 18 | 41 | 0,00095 | 28,88 | 0,37 | 39 | 49 | 72 | 123 | 46 | 52 |
| 43-1-7 | 7,45 | 35 | 56 | 0,00095 | 15,73 | 0,13 | 19 | 23 | 32 | 51 | 24 | 32 |
| 43-1-8 | 41,64 | 34 | 60 | 0,00095 | 140,33 | 2,62 | 211 | 284 | 442 | 803 | 315 | 120 |
| 43-1-9 | 46,60 | 34 | 58 | 0,00095 | 166,19 | 1,74 | 215 | 266 | 375 | 623 | 282 | 30 |
| 44-1-1 | 32,48 | 12 | 36 | 0,00261 | 52,80 | 0,61 | 73 | 95 | 147 | 294 | 82 | -1 |
| 44-2-1 | 15,63 | 21 | 35 | 0,00095 | 27,30 | 0,52 | 41 | 56 | 88 | 160 | 47 | 22 |
| 44-2-2 | 3,25 | 20 | 23 | 0,00336 | 8,48 | 0,18 | 14 | 21 | 37 | 87 | 14 | 3 |
| 44-2-3 | 4,70 | 28 | 55 | 0,00336 | 6,00 | 0,05 | 8 | 10 | 16 | 32 | 11 | 7 |
| 45-1-1 | 5,35 | 12 | 37 | 0,00095 | 6,67 | 0,18 | 11 | 17 | 27 | 52 | 14 | 30 |
| 45-2-1 | 9,92 | 48 | 79 | 0,00336 | 17,22 | 0,19 | 24 | 32 | 51 | 109 | 42 | -6 |
| 45-2-2 | 7,52 | 15 | 24 | 0,00097 | 14,09 | 0,03 | 15 | 16 | 19 | 25 | 15 | 1 |
| 45-2-3 | 10,39 | 14 | 18 | 0,00095 | 9,46 | 0,16 | 14 | 18 | 28 | 51 | 13 | 12 |
| 46-1-1 | 1,10 | 36 | 56 | 0,00095 | 2,97 | 0,05 | 4 | 6 | 9 | 15 | 6 | -5 |
| 46-1-2 | 7,31 | 14 | 17 | 0,00095 | 27,11 | 0,23 | 34 | 41 | 55 | 89 | 32 | -1 |
| 47-1-1 | 9,56 | 20 | 29 | 0,00095 | 28,00 | 0,34 | 37 | 47 | 68 | 117 | 39 | 34 |
| 47-1-2 | 5,56 | 11 | 37 | 0,00196 | 59,81 | 0,00 | 63 | 66 | 73 | 88 | 64 | -2 |
| 48-1-1 | 5,60 | 29 | 53 | 0,00095 | 15,79 | 0,26 | 23 | 30 | 46 | 83 | 31 | 33 |
| 48-1-2 | 6,49 | 25 | 59 | 0,00095 | 13,35 | 0,14 | 17 | 21 | 30 | 49 | 23 | 32 |
| 48-1-3 | 5,50 | 20 | 50 | 0,00095 | 9,24 | 0,13 | 13 | 16 | 24 | 42 | 16 | 34 |
| 48-1-4 ² | 42,00 | 29 | 53 | 0,00095 | 118,42 | 1,97 | 172 | 228 | 347 | 620 | 234 | 33 |
| 48-2-1 | 5,61 | 18 | 44 | 0,00095 | 9,43 | 0,11 | 12 | 16 | 22 | 38 | 15 | 36 |
| 48-2-2 | 17,11 | 26 | 39 | 0,00095 | 56,77 | 0,33 | 67 | 77 | 99 | 148 | 72 | 21 |
| 48-2-3 | 13,06 | 25 | 43 | 0,00095 | 19,02 | 0,20 | 24 | 30 | 42 | 70 | 29 | 6 |
| 49-1-1 | 19,38 | 25 | 43 | 0,00095 | 30,72 | 0,27 | 38 | 47 | 64 | 103 | 44 | 6 |
| 49-1-2 | 14,32 | 25 | 43 | 0,00095 | 34,40 | 0,27 | 42 | 50 | 67 | 107 | 48 | 10 |
| 50-1-1 | 1,41 | 24 | 49 | 0,00095 | 3,93 | 0,02 | 5 | 5 | 7 | 10 | 5 | 10 |
| 50-1-2 | 8,45 | 25 | 42 | 0,00301 | 19,20 | 0,07 | 23 | 26 | 35 | 60 | 25 | 8 |
| 50-1-3 | 3,12 | 17 | 31 | 0,00095 | 3,66 | 0,03 | 4 | 5 | 7 | 11 | 5 | 25 |
| 51-1-1 | 3,15 | 17 | 29 | 0,00095 | 3,75 | 0,03 | 5 | 5 | 7 | 11 | 5 | 22 |
| 51-1-2 | 9,78 | 29 | 36 | 0,00095 | 6,75 | 0,09 | 9 | 12 | 17 | 29 | 10 | 28 |
| 51-1-3 | 10,63 | 29 | 36 | 0,00236 | 24,87 | 0,08 | 28 | 32 | 41 | 64 | 30 | 14 |
| 52-1-1 | 1,97 | 27 | 43 | 0,00095 | 2,82 | 0,04 | 4 | 5 | 8 | 13 | 5 | 61 |
| 52-1-2 | 61,31 | 27 | 40 | 0,00095 | 140,65 | 1,25 | 176 | 213 | 293 | 474 | 198 | 21 |
| 53-1-1 | 8,37 | 32 | 52 | 0,00095 | 5,16 | 0,14 | 9 | 13 | 21 | 41 | 13 | 51 |
| 53-1-2 | 4,43 | 28 | 47 | 0,00184 | 19,74 | 0,12 | 24 | 28 | 38 | 64 | 28 | 5 |
| 53-1-3 | 7,50 | 26 | 42 | 0,00095 | 21,33 | 0,50 | 35 | 49 | 79 | 147 | 44 | 108 |
| 53-1-4 | 20,69 | 29 | 48 | 0,00095 | 42,95 | 0,89 | 67 | 92 | 145 | 268 | 90 | 77 |
| 53-1-5 | 5,38 | 31 | 48 | 0,00095 | 11,65 | 0,30 | 19 | 28 | 45 | 86 | 27 | 134 |
| 53-1-6 | 32,12 | 31 | 34 | 0,00294 | 32,16 | 1,20 | 67 | 107 | 204 | 491 | 81 | 73 |
| 65-1-1 | 0,09 | 59 | 59 | 0,00095 | 0,08 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 |
| 65-1-2 | 5,04 | 58 | 62 | 0,00210 | 7,29 | 0,10 | 10 | 13 | 21 | 40 | 15 | 6 |
| 68dgr-1-1 | 1,33 | 63 | 71 | 0,00095 | 0,79 | 0,02 | 1 | 2 | 3 | 6 | 2 | 46 |
| 68dgr-1-2 | 0,58 | 64 | 72 | 0,00095 | 0,48 | 0,01 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 45 |
| 68dgr-1-3 | 2,48 | 65 | 69 | 0,00125 | 1,16 | 0,04 | 2 | 3 | 6 | 12 | 4 | 53 |
| 68dgr-1-4 | 2,39 | 68 | 69 | 0,00193 | 1,35 | 0,04 | 2 | 4 | 6 | 13 | 5 | 6 |
| 68rvg-1-1 | 8,25 | 80 | 81 | 0,00147 | 22,02 | 0,21 | 28 | 35 | 50 | 86 | 44 | 8 |
| 86-1-1 | 1,52 | 68 | 70 | 0,00095 | 0,99 | 0,03 | 2 | 3 | 5 | 9 | 4 | 21 |
| 87-1-1 | 5,48 | 64 | 66 | 0,00250 | 5,93 | 0,10 | 9 | 12 | 21 | 43 | 15 | 16 |

50 Kosten in rood aangegeven betekent dat de beschouwde dijkverhoging hierbij groter is dan twee maal de decimeringshoogte. Kosten kunnen in dit geval onnauwkeurig zijn, omdat de MKBA kostenfunctie niet is gefit op discrete ramingen van dijkverhogingen groter dan twee maal de decimeringshoogte. Zie ook par. 2.2.4. In deze gevallen kan beter teruggegrepen worden op de discrete ramingen.

- ¹ *In alle analyses die zijn uitgevoerd binnen het kostenspoor is door een fout in de basisgegevens de codering van dijkkringdelen 40-1 en 40-2 met elkaar verwisseld. In deze tabel zijn de juiste trajectcodes ten behoeve van de MKBA weergegeven, echter wanneer teruggegrepen wordt op de onderliggende gegevens dient hiermee rekening gehouden te worden.*
- ² *Deze dijkkringtrajecten liggen in Duitsland, kostenramingen zijn gemaakt op basis van extrapolatie, zie par. 7.2.5.*
- ³ *Traject niet meegenomen in de MKBA*
- ⁴ *Kostenberekeningen en trajectlengtes bepaald zoals beschreven in par. 7.2.6*

J Kaart kostenberekening tweede referentie



K Resultaten kostenberekeningen gevoeligheidsanalyses en varianten

K.1 Ramingen gevoeligheidsanalyse klimaat- en aftopscenario

| Traject code | Lengte (km) | DHW (cm) | DHK (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Investeringskosten bij verschillende mate van kruinverhoging (M€) | | | | | Afw. DHK tov basis (%) |
|---------------------|-------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|------------------------|
| | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | 25 cm | 50 cm | 100 cm | 200 cm | 1 DHK | |
| 10-1-1 | 3,73 | 70 | 70 | 0,00095 | 5,65 | 0,08 | 8 | 10 | 15 | 26 | 12 | 44 |
| 10-1-2 | 11,16 | 79 | 79 | 0,00137 | 24,18 | 0,19 | 30 | 36 | 50 | 83 | 44 | 44 |
| 11-1-2 | 21,38 | 65 | 68 | 0,00095 | 98,39 | 0,47 | 113 | 128 | 160 | 233 | 139 | 13 |
| 11-1-3 | 6,81 | 79 | 79 | 0,00320 | 22,54 | 0,06 | 26 | 30 | 39 | 64 | 35 | 39 |
| 16-1-5 | 9,39 | 55 | 59 | 0,00095 | 47,60 | 0,67 | 66 | 85 | 126 | 219 | 92 | 23 |
| 24-1-1 | 15,31 | 57 | 65 | 0,00095 | 77,91 | 0,65 | 96 | 116 | 157 | 252 | 128 | 28 |
| 38-1-1 | 29,58 | 97 | 97 | 0,00095 | 86,71 | 0,88 | 111 | 137 | 192 | 318 | 189 | 42 |
| 40-2-1 ¹ | 6,38 | 58 | 58 | 0,00095 | 17,87 | 0,15 | 22 | 27 | 37 | 59 | 28 | 2 |
| 41-1-1 | 40,67 | 101 | 101 | 0,00336 | 110,79 | 0,68 | 139 | 171 | 250 | 483 | 252 | 53 |
| 42-1-1 | 8,08 | 93 | 93 | 0,00267 | 14,81 | 0,12 | 19 | 24 | 35 | 65 | 33 | 38 |
| 42-1-2 | 9,35 | 104 | 104 | 0,00095 | 24,02 | 0,29 | 32 | 40 | 58 | 99 | 59 | 49 |
| 42-1-3 ² | 42,60 | 93 | 93 | 0,00267 | 78,07 | 0,62 | 100 | 124 | 182 | 343 | 173 | 38 |
| 43-1-6 | 10,79 | 45 | 53 | 0,00190 | 20,40 | 0,15 | 25 | 31 | 43 | 74 | 31 | 18 |
| 43-1-7 | 7,45 | 102 | 102 | 0,00095 | 10,86 | 0,18 | 16 | 21 | 31 | 56 | 32 | 70 |
| 43-1-8 | 41,64 | 102 | 102 | 0,00126 | 76,88 | 1,38 | 115 | 155 | 244 | 454 | 248 | 70 |
| 43-1-9 | 46,60 | 98 | 98 | 0,00095 | 145,77 | 1,46 | 187 | 230 | 321 | 531 | 318 | 46 |
| 47-1-1 | 9,56 | 52 | 52 | 0,00095 | 24,89 | 0,17 | 30 | 35 | 46 | 70 | 35 | 21 |
| 48-1-1 | 5,60 | 86 | 87 | 0,00306 | 15,22 | 0,10 | 19 | 24 | 34 | 65 | 31 | 31 |
| 48-1-2 | 6,49 | 76 | 77 | 0,00178 | 10,86 | 0,12 | 15 | 19 | 28 | 51 | 23 | 35 |
| 48-1-3 | 5,50 | 52 | 61 | 0,00123 | 7,88 | 0,09 | 10 | 13 | 19 | 32 | 14 | 14 |
| 48-1-4 ² | 42,00 | 86 | 87 | 0,00306 | 114,19 | 0,75 | 144 | 177 | 257 | 488 | 234 | 28 |
| 48-2-1 | 5,61 | 44 | 52 | 0,00096 | 6,52 | 0,10 | 9 | 12 | 18 | 32 | 12 | 24 |
| 48-2-2 | 17,11 | 74 | 74 | 0,00235 | 42,12 | 0,16 | 49 | 56 | 74 | 119 | 64 | 34 |
| 48-2-3 | 13,06 | 79 | 79 | 0,00095 | 14,99 | 0,24 | 22 | 28 | 43 | 76 | 37 | 62 |
| 49-1-1 | 19,38 | 79 | 79 | 0,00155 | 29,12 | 0,37 | 40 | 51 | 77 | 139 | 66 | 53 |
| 49-1-2 | 14,32 | 79 | 79 | 0,00153 | 28,88 | 0,36 | 39 | 51 | 76 | 137 | 65 | 66 |
| 50-1-1 | 1,41 | 82 | 82 | 0,00144 | 3,84 | 0,02 | 4 | 5 | 6 | 10 | 6 | 24 |
| 50-1-2 | 8,45 | 79 | 79 | 0,00166 | 17,85 | 0,12 | 22 | 26 | 35 | 58 | 31 | 33 |
| 50-1-3 | 3,12 | 73 | 73 | 0,00228 | 3,06 | 0,02 | 4 | 5 | 7 | 12 | 5 | 45 |
| 51-1-1 | 3,15 | 73 | 73 | 0,00248 | 3,21 | 0,02 | 4 | 5 | 7 | 12 | 6 | 45 |
| 51-1-2 | 9,78 | 82 | 82 | 0,00095 | 5,01 | 0,14 | 9 | 12 | 20 | 39 | 17 | 119 |
| 51-1-3 | 10,63 | 82 | 82 | 0,00121 | 23,88 | 0,05 | 26 | 28 | 33 | 44 | 31 | 23 |
| 52-1-1 | 1,97 | 76 | 76 | 0,00095 | 1,27 | 0,05 | 3 | 4 | 7 | 15 | 6 | 116 |
| 52-1-2 | 61,31 | 81 | 81 | 0,00154 | 125,01 | 1,03 | 157 | 191 | 266 | 450 | 236 | 39 |
| 53-1-1 | 8,37 | 90 | 90 | 0,00287 | 4,18 | 0,10 | 7 | 11 | 19 | 44 | 17 | 95 |
| 53-1-2 | 4,43 | 85 | 85 | 0,00336 | 16,80 | 0,15 | 22 | 29 | 45 | 92 | 39 | 52 |
| 53-1-3 | 7,50 | 79 | 79 | 0,00095 | 13,04 | 0,25 | 20 | 27 | 42 | 76 | 35 | 75 |
| 53-1-4 | 20,69 | 83 | 83 | 0,00096 | 32,69 | 0,41 | 44 | 56 | 82 | 140 | 73 | 41 |
| 53-1-5 | 5,38 | 92 | 92 | 0,00279 | 6,99 | 0,10 | 10 | 14 | 22 | 47 | 21 | 78 |

50 Kosten in rood aangegeven betekent dat de beschouwde dijkverhoging hierbij groter is dan twee maal de decimeringshoogte. Kosten kunnen in dit geval onnauwkeurig zijn, omdat de MKBA kostenfunctie niet is gefit op discrete ramingen van dijkverhogingen groter dan twee maal de decimeringshoogte. Zie ook par. 2.2.4. In deze gevallen kan beter teruggegrepen worden op de discrete ramingen.

¹ In alle analyses die zijn uitgevoerd binnen het kostenspoor is door een fout in de basisgegevens de codering van dijkringdelen 40-1 en 40-2 met elkaar verwisseld. In deze tabel zijn de juiste trajectcodes ten

behoefte van de MKBA weergegeven, echter wanneer teruggegrepen wordt op de onderliggende gegevens dient hiermee rekening gehouden te worden.

² Deze dijkkringtrajecten liggen in Duitsland, kostenramingen zijn gemaakt op basis van extrapolatie, zie par. 7.2.5

K.2 Ramingen gevoeligheidsanalyse overhoogte en –sterkte

| Vakcode | Traject code oud | Traject code nieuw | Lengte (km) | Overhoogte (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Extra B&O (%) |
|---------------|------------------|--------------------|-------------|-----------------|--------------------------------------------|--------|-----------|---------------|
| | | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | |
| 26-1-1-Z-3-Z | 26-1-1 | 26-1-1a | 1,3 | 32 | 0,00096 | 2,22 | 0,03 | 0,3 |
| 26-1-1-Z-2-Z | 26-1-1 | 26-1-1b | 4,3 | 56 | 0,00095 | 3,93 | 0,15 | 0,3 |
| 26-1-1-Z-4-Z | 26-1-1 | 26-1-1b | | | | | | |
| 26-1-1-Z-1-Z | 26-1-1 | 26-1-1c | 2,57 | 185 | 0,00336 | 1,630 | 0,06 | 0,3 |
| 26-1-2-Z-1-Z | 26-1-2 | 26-1-2 | 0,85 | 0 | 0,00095 | 0,87 | 0,06 | 0,5 |
| 26-2-1-Z-1-Z | 26-2-1 | 26-2-1a | 7,38 | 0 | 0,00095 | 4,09 | 0,17 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-2-Z | 26-2-1 | 26-2-1a | | | | | | |
| 26-2-1-Z-5-Z | 26-2-1 | 26-2-1a | | | | | | |
| 26-2-1-Z-7-Z | 26-2-1 | 26-2-1b | 0,59 | 49 | 0,00095 | 0,50 | 0,01 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-11-Z | 26-2-1 | 26-2-1c | 7,37 | 70 | 0,00336 | 1,98 | 0,14 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-10-Z | 26-2-1 | 26-2-1d | 3,09 | 90 | 0,00336 | 3,10 | 0,07 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-12-Z | 26-2-1 | 26-2-1e | 2,8 | 122 | 0,00096 | 5,01 | 0,11 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-6-Z | 26-2-1 | 26-2-1f | 3,35 | 143 | 0,00253 | 4,13 | 0,06 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-8-Z | 26-2-1 | 26-2-1f | | | | | | |
| 26-2-1-Z-3-Z | 26-2-1 | 26-2-1g | 7,48 | 172 | 0,00336 | 6,95 | 0,16 | 0,4 |
| 26-2-1-Z-9-Z | 26-2-1 | 26-2-1g | | | | | | |
| 26-2-1-Z-4-Z | 26-2-1 | 26-2-1h | 2,09 | 266 | 0,00095 | 1,47 | 0,06 | 0,4 |
| 36-1-1-C-7-J | 36-1-1 | 36-1-1a | 16,82 | 0 | 0,00336 | 2,94 | 0,25 | 0,3 |
| 36-1-1-D-7-K | 36-1-1 | 36-1-1a | | | | | | |
| 36-1-1-D-7-L | 36-1-1 | 36-1-1a | | | | | | |
| 36-1-1-E-7-L | 36-1-1 | 36-1-1a | | | | | | |
| 36-1-1-A-1-E | 36-1-1 | 36-1-1b | 46,41 | 32 | 0,00326 | 32,10 | 0,46 | 0,3 |
| 36-1-1-A-1-F | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-A-1-G | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-B-1-G | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-B-2-G | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-B-2-H | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-2-I | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-3-I | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-4-I | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-5-I | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-5-J | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-1-C-6-J | 36-1-1 | 36-1-1b | | | | | | |
| 36-1-2-A-1-C | 36-1-2 | 36-1-2a | 2,60 | 0 | 0,00336 | 1,87 | 0,07 | 0,3 |
| 36-1-2-B-2-C | 36-1-2 | 36-1-2b | 14,62 | 49 | 0,00104 | 24,76 | 0,35 | 0,3 |
| 36-1-2-C-2-C | 36-1-2 | 36-1-2b | | | | | | |
| 36-1-2-C-2-D | 36-1-2 | 36-1-2b | | | | | | |
| 36-1-2-C-2-E | 36-1-2 | 36-1-2b | | | | | | |
| 36-1-3-A-1-C | 36-1-3 | 36-1-3 | 3,90 | 46 | 0,00336 | 3,80 | 0,06 | 0,2 |
| 36-1-4-A-1-A | 36-1-4 | 36-1-4 | 11,37 | 22 | 0,00095 | 0,50 | 0,49 | 0,4 |
| 36-1-4-A-1-B | 36-1-4 | 36-1-4 | | | | | | |
| 36-1-4-A-2-B | 36-1-4 | 36-1-4 | | | | | | |
| 36-1-5-A-1-A | 36-1-5 | 36-1-5 | 1,00 | 58 | 0,00096 | 1,42 | 0,02 | 0,5 |
| 36-1-6-A-3-A | 36-1-6 | 36-1-6a | 1,53 | 18 | 0,00336 | 2,68 | 0,01 | 0,3 |
| 36-1-6-A-1-A | 36-1-6 | 36-1-6b | 1,25 | 52 | 0,00222 | 15,19 | 0,003 | 0,3 |
| 36-1-6-A-2-A | 36-1-6 | 36-1-6b | | | | | | |
| 36-1-7-A-1-A | 36-1-7 | 36-1-7 | 5,00 | 106 | 0,00336 | 3,69 | 0,06 | 0,3 |
| 44-1-1-A-1-Z | 44-1-1 | 44-1-1 | 32,48 | 229 | 0,00316 | 56,49 | 0,73 | 0,2 |
| 44-1-1-B-1-Z | 44-1-1 | 44-1-1 | | | | | | |
| 44-1-1-C-1-Z | 44-1-1 | 44-1-1 | | | | | | |

| Vakcode | Traject code oud | Traject code nieuw | Lengte (km) | Over-hoogte (cm) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Extra B&O (%) |
|--------------|------------------|--------------------|-------------|------------------|--------------------------------------------|--------|-----------|---------------|
| | | | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | |
| 44-1-1-D-1-Z | 44-1-1 | 44-1-1 | | | | | | |
| 44-2-1-A-1-Z | 44-2-1 | 44-2-1 | 15,63 | 126 | 0,00096 | 22,31 | 0,40 | 0,4 |
| 44-2-1-B-1-Z | 44-2-1 | 44-2-1 | | | | | | |
| 44-2-1-C-1-Z | 44-2-1 | 44-2-1 | | | | | | |
| 44-2-1-D-1-Z | 44-2-1 | 44-2-1 | | | | | | |
| 44-2-2-A-1-Z | 44-2-2 | 44-2-2 | 3,25 | 218 | 0,00336 | 7,51 | 0,24 | 0,7 |
| 44-2-2-B-1-Z | 44-2-2 | 44-2-2 | | | | | | |
| 44-2-3-A-1-Z | 44-2-3 | 44-2-3 | 4,70 | 164 | 0,00336 | 7,81 | 0,05 | 0,4 |

K.3 Ramingen gevoeligheidsanalyse piping

| Dijkring deel | Lengte (km) | Gem. Dec. hoogte HBN | Kosten (M€) bij verhoging 1 Dec. Hoogte HBN | | | Kosten (M€) bij verhoging 2 Dec. Hoogte HBN | | |
|---------------|---------------|----------------------|---------------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------|---------------|-------------|
| | | | Piping variant | Basis variant | Factor | Piping variant | Basis variant | Factor |
| 6-4 | 61,66 | 44 | 127 | 117 | 1,09 | 228 | 218 | 1,05 |
| 10-1 | 47,72 | 40 | 123 | 109 | 1,13 | 170 | 152 | 1,12 |
| 13-2 | 56,35 | 41 | 283 | 233 | 1,21 | 439 | 333 | 1,32 |
| 13-4 | 40,03 | 34 | 259 | 232 | 1,12 | 336 | 292 | 1,15 |
| 14-2 | 4,59 | 97 | 42 | 32 | 1,32 | 69 | 60 | 1,16 |
| 14-3 | 36,17 | 80 | 443 | 374 | 1,19 | 677 | 586 | 1,15 |
| 15-1 | 47,62 | 35 | 357 | 332 | 1,08 | 472 | 417 | 1,13 |
| 16-1 | 86,23 | 44 | 764 | 663 | 1,15 | 1049 | 889 | 1,18 |
| 25-2 | 26,80 | 47 | 55 | 36 | 1,55 | 87 | 66 | 1,32 |
| 41-1 | 41,66 | 58 | 217 | 169 | 1,29 | 300 | 246 | 1,22 |
| 41-2 | 48,19 | 52 | 189 | 166 | 1,14 | 277 | 247 | 1,12 |
| 43-1 | 170,48 | 49 | 743 | 584 | 1,27 | 1060 | 844 | 1,25 |
| 48-1 | 17,59 | 54 | 59 | 54 | 1,10 | 83 | 77 | 1,07 |
| 48-2 | 35,78 | 41 | 110 | 81 | 1,35 | 151 | 108 | 1,39 |
| 52-1 | 63,28 | 40 | 206 | 173 | 1,19 | 267 | 231 | 1,16 |
| Totaal | 784,15 | | 3978 | 3354 | 1,19 | 5665 | 4766 | 1,19 |

K.4 Ramingen vergelijking VNK

K.4.1 Dijkkring 10

| Dijkvak | Lengte (km) | Kosten (M€) bij verhoging 1 Dec. Hoogte HBN | | | Index (Kosten/Kosten WV21) | | |
|---------------|--------------|------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| | | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 |
| 10-1-1-A-1-A | 3,73 | 10,60 | 20,54 | 22,72 | 1,00 | 1,94 | 2,14 |
| 10-1-2-A-1-A | 11,16 | 44,26 | 64,00 | 70,69 | 1,00 | 1,45 | 1,60 |
| 10-1-3-A-1-B | 1,21 | 2,77 | 3,14 | 2,93 | 1,00 | 1,13 | 1,06 |
| 10-1-3-A-1-C | 3,89 | 6,52 | 10,33 | 10,63 | 1,00 | 1,58 | 1,63 |
| 10-1-3-B-1-C | 2,95 | 6,01 | 7,98 | 8,55 | 1,00 | 1,33 | 1,42 |
| 10-1-3-B-1-D | 0,76 | 1,72 | 4,43 | 3,48 | 1,00 | 2,57 | 2,02 |
| 10-1-3-C-1-A | 3,26 | 9,69 | 10,95 | 11,22 | 1,00 | 1,13 | 1,16 |
| 10-1-3-C-1-D | 7,42 | 13,65 | 32,14 | 33,80 | 1,00 | 2,35 | 2,48 |
| 10-1-4-A-1-A | 7,38 | 17,04 | 22,77 | 22,92 | 1,00 | 1,34 | 1,35 |
| 10-1-4-B-1-A | 0,94 | 0,68 | 1,89 | 1,77 | 1,00 | 2,80 | 2,61 |
| 10-1-4-B-1-B | 3,25 | 3,54 | 8,51 | 7,66 | 1,00 | 2,41 | 2,17 |
| 10-1-4-C-1-B | 1,77 | 2,27 | 2,85 | 2,98 | 1,00 | 1,25 | 1,31 |
| Totaal | 47,72 | 118,74 | 189,54 | 199,34 | 1,00 | 1,60 | 1,68 |

K.4.2 Dijkkring 48

| Dijkvak | Lengte (km) | Kosten (M€) bij verhoging 1 Dec. Hoogte HBN | | | Index (Kosten/Kosten WV21) | | |
|---------------|--------------|------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| | | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 | WV21 | VNK 50/50 | VNK 90/10 |
| 48-1-1-A-1-F | 3,32 | 19,30 | 23,49 | 22,00 | 1,00 | 1,22 | 1,14 |
| 48-1-1-A-1-G | 2,28 | 10,66 | 12,93 | 12,28 | 1,00 | 1,21 | 1,15 |
| 48-1-2-A-1-F | 6,49 | 24,17 | 47,37 | 43,84 | 1,00 | 1,96 | 1,81 |
| 48-1-3-A-1-E | 3,00 | 6,34 | 17,60 | 16,03 | 1,00 | 2,78 | 2,53 |
| 48-1-3-A-1-F | 2,50 | 6,89 | 13,12 | 12,67 | 1,00 | 1,90 | 1,84 |
| 48-2-1-A-1-E | 5,61 | 12,79 | 26,45 | 24,49 | 1,00 | 2,07 | 1,91 |
| 48-2-2-A-1-D | 5,41 | 19,01 | 26,98 | 26,15 | 1,00 | 1,42 | 1,38 |
| 48-2-2-A-1-E | 5,03 | 17,20 | 33,57 | 31,58 | 1,00 | 1,95 | 1,84 |
| 48-2-2-B-1-C | 2,25 | 6,02 | 8,74 | 8,39 | 1,00 | 1,45 | 1,39 |
| 48-2-2-B-1-D | 4,42 | 13,79 | 22,75 | 21,15 | 1,00 | 1,65 | 1,53 |
| 48-2-3-A-1-A | 0,64 | 1,35 | 5,07 | 4,51 | 1,00 | 3,75 | 3,34 |
| 48-2-3-A-1-B | 6,52 | 15,30 | 43,93 | 39,74 | 1,00 | 2,87 | 2,60 |
| 48-2-3-A-1-C | 3,16 | 8,77 | 13,20 | 12,23 | 1,00 | 1,50 | 1,39 |
| 48-2-3-A-2-A | 2,73 | 9,60 | 9,52 | 8,87 | 1,00 | 0,99 | 0,92 |
| Totaal | 53,37 | 171,21 | 304,68 | 283,94 | 1,00 | 1,78 | 1,66 |

K.5 Ramingen By-pass Kampen

| Traject code | Lengte (km) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | Extra B&O (%) | DHK (cm) | Investeringskosten bij 1 DHK (M€) |
|----------------------|-------------|--------------------------------------------|--------|-----------|---------------|----------|-----------------------------------|
| | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | | | |
| Basisvariant | | | | | | | |
| 11-1-1 | 4,69 | 0,00095 | 4,64 | 0,12 | 0,5 | 123 | 22 |
| 11-1-2 | 21,38 | 0,00095 | 98,39 | 0,47 | 0,3 | 42 | 123 |
| 11-1-3 | 6,81 | 0,00336 | 21,05 | 0,03 | 0,1 | 37 | 25 |
| Bypass Kampen | | | | | | | |
| 11a-1-1 | 4,69 | 0,00095 | 4,64 | 0,12 | 0,5 | 123 | 22 |
| 11a-1-2 | 12,59 | 0,00095 | 76,76 | 0,32 | 0,3 | 42 | 94 |
| 11b-1-2 | 7,79 | 0,00127 | 19,42 | 0,12 | 0,2 | 42 | 26 |
| 11b-1-3 | 6,81 | 0,00336 | 21,05 | 0,03 | 0,1 | 37 | 25 |

K.6 Ramingen dijkkring 43

| Traject | Lengte (km) | Investeringskosten bij 1 DHK (M€) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------------|
| Westelijk deel | | |
| 43-1-1 | 16,47 | 53 |
| 43-1-9 | 46,60 | 218 |
| Totaal | 63,08 | 271 |
| Oostelijk deel | | |
| 43-1-2 | 7,68 | 20 |
| 43-1-3 | 18,32 | 44 |
| 43-1-4 | 17,02 | 49 |
| 43-1-5 | 4,50 | 9 |
| 43-1-6 | 10,79 | 27 |
| 43-1-7 | 7,45 | 19 |
| 43-1-8 | 41,64 | 146 |
| Totaal | 107,40 | 313 |

K.7 Ramingen Duitsland

| Traject | Lengte (km) | Investeringskosten bij 1 DHK (M€) | Percentage |
|------------------|--------------|-----------------------------------|------------|
| Dr 42 NL | | | |
| 42-1-1 | 8,08 | 24 | 13% |
| 42-1-2 | 9,35 | 40 | 21% |
| Totaal | 17,43 | 64 | 34% |
| Dr 42 Dui | | | |
| 42-1-3 | 42,60 | 126 | 66% |
| Totaal | 42,60 | 126 | 66% |
| Dr 48 NL | | | |
| 48-1-1 | 5,60 | 24 | 10 |
| 48-1-2 | 6,49 | 17 | 7 |
| 48-1-3 | 5,50 | 12 | 5 |
| Totaal | 17,59 | 53 | 22 |
| Dr 48 Dui | | | |
| 48-1-4 | 42,00 | 183 | 78 |
| Totaal | 42,00 | 183 | 78 |

K.8 Ramingen B-keringen

| Code | Naam | Lengte (km) | Parameters exponentiële kostenfunctie MKBA | | | DHK (cm) | Investeringskosten bij 1 DHK (M€) | Extra B&O (%) |
|--------|----------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|--------|-----------|----------|-----------------------------------|---------------|
| | | | λ (1/cm) | C (M€) | b (M€/cm) | | | |
| VWK-2 | Kadoelersluis | 150 | 0,00336 | 4,29 | 0,01635 | 25 | 5 | 1,0 |
| VWK-3 | Roggebotsluis | 330 | 0,00095 | 1,57 | 0,04891 | 72 | 5 | 0,9 |
| VWK-5 | Nijkerkersluis | 775 | 0,00336 | 2,40 | 0,04276 | 45 | 5 | 0,8 |
| VWK-6 | Spooldersluis | 50 | 0,00336 | 1,17 | 0,01885 | 43 | 2 | 1,0 |
| VWK-7 | Sluizen IJmuiden | 5240 | 0,00218 | 121,60 | 0,27837 | 46 | 149 | 0,6 |
| VWK-13 | Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis | 580 | 0,00336 | 3,49 | 0,01702 | 35 | 5 | 0,8 |
| VWK-14 | Brouwersdam | 6400 | 0,00095 | 25,70 | 0,21759 | 219 | 90 | 0,4 |
| VWK-15 | Hellegatsdam en Volkeraksluizen | 5300 | 0,00336 | 18,29 | 0,34590 | 44 | 39 | 0,6 |
| VWK-16 | Grevelingendam | 4350 | 0,00336 | 6,27 | 0,06237 | 35 | 10 | 0,6 |
| VWK-17 | Philipsdam | 6800 | 0,00336 | 21,11 | 0,76645 | 34 | 53 | 0,4 |
| VWK-19 | Oesterdam | 11320 | 0,00095 | 24,49 | 0,32419 | 38 | 38 | 0,3 |
| VWK-20 | Veersedam | 2800 | 0,00095 | 10,39 | 0,09491 | 219 | 38 | 0,4 |
| VWK-21 | Zandkreekdijk | 770 | 0,00095 | 6,82 | 0,08495 | 36 | 10 | 0,6 |
| VWK-23 | Zeedijk Paviljoenpolder | 4200 | 0,00095 | 7,03 | 0,14777 | 128 | 29 | 0,7 |
| VWK-24 | Heerewaardense afsluitdijk + Schutsluis St Andries | 1570 | 0,00336 | 3,74 | 0,00164 | 45 | 4 | 0,4 |
| VWK-26 | Keersluis Heusdensch Kanaal | 2940 | 0,00336 | 10,45 | 0,00468 | 35 | 12 | 0,5 |
| VWK-27 | Bergse Maasdijk | 690 | 0,00336 | 1,12 | 0,00050 | 54 | 1 | 0,1 |