

Addendum I
bij de Leidraad Zee- en Meerdijken
t.b.v. het ontwerpen van meerdijken

25 maart 2009



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Addendum I

bij de Leidraad Zee- en Meerdijken

t.b.v. het ontwerpen van meerdijken

Inhoudsopgave

1.	Samenvatting robuust ontwerpen meerdijken 4
2.	Algemeen 6
2.1	Aanleiding opstellen addendum 6
2.2	Wettelijke status ontwerpleidraden en status addendum 6
2.3	De Leidraad Zee- en Meerdijken 7
2.4	Afbakening 7
2.5	Relatie met (het addendum bij) de Leidraad Rivieren 8
2.6	Leeswijzer 8
3.	Achtergronden Robuust Ontwerpen 9
3.1	Inleiding 9
3.2	Relevante uitgangspunten voor robuust ontwerpen 9
3.3	Invulling van het begrip uitbreidbaarheid 10
4.	Uitwerking aspecten voor ontwerp en robuustheid 11
4.1	Inleiding 11
4.2	Planperiode 11
4.3	Ontwerpbelastingen 12
4.3.1.	<i>Relatie meerpeil IJsselmeer en de zeespiegelstijging 12</i>
4.3.2.	<i>Relatie meerpeil Markermeer en meerpeil IJsselmeer 13</i>
4.3.3.	<i>Klimaatscenario's 14</i>
4.3.4.	<i>Toename golfhoogte door klimaatverandering 15</i>
4.3.5.	<i>Bodemdaling 15</i>
4.4	Ruimtelijke inrichting 15
4.5	Robuustheidstoelagen 16
4.5.1.	<i>Algemeen 16</i>
4.5.2.	<i>Robuustheidstoelagen IJsselmeer en Markermeer 17</i>
4.5.3.	<i>Inschatting effect robuustheidstoelagen op de kruinhoogte 18</i>
4.6	Uitbreidbaarheid of ruimtereservering 19
5.	Toepassing 20
6.	Literatuur / referenties 21
Bijlage A	Toelichting op de wijze van rekenen met toelagen 23

1. Samenvatting robuust ontwerpen meerdijken

Dit addendum bij de Leidraad Zee- en Meerdijken is een ontwerp kader voor de primaire keringen van type a of b in de volgende gebieden:

- I. IJsselmeer, Ketelmeer en Zwarte Meer. Dit gebied wordt verder aangeduid als *IJsselmeer*;
- II. Markermeer, Gooimeer, Eemmeer (incl. de Eem) en Nijkerkernauw. Dit gebied wordt verder aangeduid als *Markermeer*.

Het addendum bevat de volgende punten:

1. De uitgangspunten voor de planperiode zijn beschreven in de Leidraad Zee- en Meerdijken (1999).
2. De uitgangspunten voor dimensionering en de reguliere ontwerpbelastingen zijn beschreven in de Leidraad Zee- en Meerdijken (1999). Voor het bepalen van de ontwerpbelasting worden de vigerende hydraulische randvoorwaarden als basis gehanteerd.
3. De verdubbeling van de spuicapaciteit (ES2) in de Afsluitdijk wordt volledig meegenomen. De extra capaciteit kan direct worden doorvertaald in het meerpeil voor het IJsselmeer. Dit resulteert in een reductie van het meerpeil van 25 cm, dus kan er na aanleg van ES2 25 cm van de zeespiegelstijging extra worden opgevangen. Het meerpeil zal in dit geval gegeven de gekozen klimaatscenario's (zie 5.) tot 2050 niet toenemen, maar daarna wel.
4. Voor de peilontwikkeling op het Markermeer wordt het volgende aangehouden: voor ontwerpen waarvan de planperiode 50 jaar (of korter) is, en waarvan de planperiode eindigt voor 1-1-2076 wordt 60% van de stijging van het wintermeerpeil op het IJsselmeer meegenomen op het Markermeer. Hiermee wordt aangesloten op de huidige situatie (huidige sturingsregime van de sluizen en gemalen van het Markermeer). Voor alle overige ontwerpen is maatwerk noodzakelijk afhankelijk van de peilontwikkeling. Hierbij wordt als ondergrens een niet stijgend wintermeerpeil als bedoeld in het ontwerp Nationaal Waterplan d.d. 12 december 2008 aangehouden en als bovengrens het huidige sturingsregime.
5. Uitgangspunt voor de *absolute* zeespiegelrijzing en meerpeilstijging van het IJsselmeer (gebied I, in m+NAP) zijn de KNMI '06 klimaatscenario's: het G scenario voor het dijkontwerp en W voor de ruimtereservering.
6. De toename van golfhoogte met meerpeilstijging wordt volgens de regel $\Delta H_s = 0.45 * \Delta d$ in rekening gebracht, met Δd de meerpeilstijging volgens het klimaatscenario (en zonder robuustheidstoeslag). Bij gebruik van een probabilistisch model als Hydra-M voor het ontwerp kan van deze formule worden afgeweken door gebruik te maken van de door het model berekende aanpassing van golfhoogte.

-
7. Voor een dijkontwerp wordt aan de *absolute* zeespiegelstijging een lokale bodemdaling toegevoegd aangezien deze geografisch sterk verschillend is in Nederland.
 8. In geval er met grote mate van zekerheid ruimtelijke projecten in het meergebied plaatsvinden, worden de effecten hiervan op de belastingen ingeschat middels modellering.
 9. Robuustheidstoelagen kunnen voor het IJsselmeer en Markermeer worden toegevoegd voor de inherente onzekerheid in de golfparameters (10% toeslag op golfhoogte en golfperiode) en de waterstand (wintermeerpeil en opwaaiing, +20 cm toeslag op MHW), tenzij men middels modellering met de gangbare wiskundige modellen als Hydra-M en WAQUA kan aantonen dat andere waarden beter zijn. Robuustheidstoelagen voor beleidsonzekerheden of voor een extra toename in de klimaatontwikkeling worden hier niet meegenomen.
 10. Houdt rekening met de uitbreidbaarheid van het ontwerp. Ruimtereservering gebeurt voor een periode van 100 jaar volgens KNMI '06 scenario W, tenzij er onoverkomelijke juridische of planologische bezwaren liggen.
 11. Controleer de consequenties van het ontwerp volgend uit punt 1-10 op haalbaarheid in termen van kosten en uitvoerbaarheid. Indien mocht blijken dat het ontwerp om bepaalde dwingende redenen niet uitvoerbaar is of economisch niet verantwoord is, kan een extra gevoeligheidsanalyse voor diverse scenario's (met planperiode 50 jaar en planperiode 100 jaar) worden gedaan om toch tot een haalbaar ontwerp te komen. De scenario's betreffen de KNMI-06 scenario's.

2. Algemeen

2.1 Aanleiding opstellen addendum

De eind 2007 vastgestelde Leidraad Rivieren geeft voor het eerst invulling aan het begrip "robuust ontwerpen". Bij een eerste toepassing op een aantal dijkversterkingsprojecten in dit kader zijn echter vragen omtrent de toepassing van de Leidraad Rivieren ontstaan. Het "*addendum op de Leidraad Rivieren t.b.v. het ontwerpen van rivierdijken*" (2008) vormt de beantwoording op deze vragen en geeft daar waar nodig aanscherpingen op de Leidraad Rivieren voor robuust ontwerpen.

De ontwerpbelasting en ontwerpregels van meerdijken zijn gegeven in de Leidraad Zee- en Meerdijken (1999). Hierin wordt echter niet gesproken over robuust ontwerpen. In de ontwerppraktijk in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma komen in 2008 echter vragen naar voren over invulling van het concept robuust ontwerpen voor meerdijken.

In de Leidraad Zee- en meerdijken wordt verder niet specifiek ingegaan op de mate van zeespiegelrijzing en te hanteren scenario's (deze kwamen pas in 2000 beschikbaar), en de ontwikkelingen in de spui capaciteit van het spuumiddel in de Afsluitdijk (ES2). Evenmin wordt iets gezegd over de toename in de opwaaiing en de bodemdaling. Deze aspecten zijn echter wel van wezenlijk belang en worden daarom in dit addendum expliciet gemaakt om zo tot een eenduidig ontwerpinstrumentarium te komen.

2.2 Wettelijke status ontwerp leidraden en status addendum

In de Wet op de Waterkering staat dat de Minister van Verkeer en Waterstaat zorg draagt voor de totstandkoming en het aanbieden van technische leidraden voor het ontwerp, het beheer en het onderhoud van primaire waterkeringen. Deze technische leidraden strekken tot aanbeveling ten behoeve van degenen die met het beheer en het toezicht zijn belast. Het onverkort volgen van de leidraden is niet verplicht, onder andere omdat al te stringent vasthouden aan de leidraad ertoe kan leiden dat mogelijkheden voor optimaal maatwerk onbenut blijven. Wel is het aan te bevelen leidraden zoveel mogelijk te volgen bij het ontwerpen van maatregelen. De leidraden bevatten namelijk de beste algemeen geaccepteerde technische kennis.

Dit addendum heeft dezelfde status als vigerende leidraden voor ontwerpen en strekt dus tot aanbeveling voor het ontwerp. Gemotiveerd kan van het addendum worden afgeweken.

2.3 De Leidraad Zee- en Meerdijken

De Leidraad Zee- en Meerdijken is in december 1999 uitgebracht door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW, nu Expertisenetwerk Waterveiligheid, ENW). Naast een hoofdrapport is ook een basisrapport uitgebracht, dat een nadere uitwerking geeft van de dimensionering van zee- en meerdijken. Het basisrapport is inmiddels vervangen door het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.

De Leidraad Zee- en Meerdijken strekt dus tot aanbeveling bij het ontwerpen van zee- en meerdijken. Bij discrepantie met oudere en of bestaande leidraden prevaleert altijd de nieuwste. Dit addendum prevaleert dus boven de in 1999 uitgebrachte Leidraad.

2.4 Afbakening

Algemeen

Dit addendum is:

- uitsluitend bedoeld voor toepassing bij het ontwerpen van meerdijken
- bedoeld om te gebruiken in combinatie met de Leidraad Zee- en Meerdijken Rivieren en andere vigerende leidraden. Bij discrepantie tussen dit addendum en een van de leidraden prevaleert dit addendum
- gebaseerd op de Leidraad Zee- en Meerdijken en andere vigerende leidraden en gaat dus uit van het huidige (vastgestelde) beleid, de huidige normen en bestaande kennis en modellen:
 - In dit addendum worden eventuele veranderingen in het beleid n.a.v. de *commissie Veerman* niet meegenomen, aangezien de besluitvorming nog niet heeft plaatsgevonden
 - Uitgegaan wordt van het beleidsvoornemen om de spuicapaciteit in de Afsluitdijk te verhogen
 - In dit addendum wordt voor dijkontwerpen met een planperiode van 50 jaar aangesloten op de huidige situatie (huidige sturingsregime van de sluizen en gemalen van het Markermeer) en wordt voor overige ontwerpen een maatwerkoplossing gezocht die aansluit op het ontwerp Nationaal Waterplan d.d. 12 december 2008 maar ook rekening houdt met onzekerheden daarin.
- bedoeld als verduidelijking en aanscherping op alleen die punten waarbij dat nodig is gebleken: *de focus ligt hiermee op de ontwerpbelastingen. Sterkteaspecten komen niet aan de orde.*

Gebiedsafbakening

Dit ontwerp kader heeft betrekking op de primaire keringen van type a of b in de volgende gebieden:

- I. IJsselmeer, Ketelmeer en Zwarte Meer. Dit gebied wordt verder in de memo aangeduid als *IJsselmeer*;
- II. Markermeer, Gooimeer, Eemmeer (incl. de Eem) en Nijkerkernauw. Dit gebied wordt verder in de memo aangeduid als *Markermeer*.

De *Veluwerandmeren* liggen tussen Roggebotsluis en Nijkerkersluis en bestaat uit het Drontermeer, Veluwemeer, Wolderwijd en Nulderneauw. Dit gebied worden niet behandeld in dit addendum. Dit addendum behandelt ook niet het *Volkerak-Zoommeer* en de *Grevelingen*. Het betreft hier meren met keringen van type c, waarvan de peilontwikkeling nog nader moet worden bekeken.

2.5 Relatie met (het addendum bij) de Leidraad Rivieren

De robuustheidstoeslagen voor meren kunnen niet één op één van de rivieren worden overgenomen. Dit omdat er sprake is van aanzienlijke fysieke verschillen tussen de watersystemen. Hierdoor kunnen de toeslagen zoals deze voor het rivierengebied zijn afgeleid niet zondermeer op de meren worden toegepast. Zo zijn ondermeer de onzekerheden in de MHW groter. Ook indien er een onzekerheidstoeslag voor de golfbelasting zou worden berekend is deze in meren aanzienlijk hoger dan in rivieren.

Het principe dat in dit addendum gehanteerd wordt, is dat het robuust ontwerpen volgens de aanpak uit de Leidraad Rivieren en het Technisch Rapport Ontwerpbelasting voor rivierdijken (TROB) een goede basis vormt voor de meerdijken, waarbij op bepaalde punten de specifieke karakteristieken voor meren moeten worden gebruikt. De ontwerpwaarden en robuustheidstoeslagen dienen daarbij ook zoveel mogelijk consistent te zijn met reeds eerder toegepaste ontwerpwaarden en bestaande leidraden. Ook wordt voor de consistentie zoveel mogelijk aangesloten op de aanpak van het addendum op de Leidraad Rivieren.

2.6 Leeswijzer

Dit addendum beoogt de vragen, zoals beschreven in de vorige paragrafen, te beantwoorden en daar waar nodig een aanscherping te geven op de Leidraad Zee- en Meerdijken om zo tot een eenduidig addendum te komen.

In het vervolg van dit addendum wordt op het volgende ingegaan:

- *Achtergronden robuust ontwerpen, hoofdstuk 3*
- *Uitwerking aspecten voor ontwerp en robuustheid, hoofdstuk 4*
- *Toepassen van het addendum, hoofdstuk 5.*

3. Achtergronden Robuust Ontwerpen

3.1 Inleiding

Robuust ontwerpen is volgens de Leidraad rivieren niets anders dan goed ontwerpen. In de Leidraad Rivieren wordt de volgende definitie voor robuust ontwerpen gehanteerd:

'Goed (robuust) ontwerpen betekent: in het ontwerp rekening houden met toekomstige ontwikkelingen en onzekerheden, zodat het uitgevoerde ontwerp tijdens de planperiode blijft functioneren zonder dat ingrijpende en kostbare aanpassingen noodzakelijk zijn, en dat het ontwerp uitbreidbaar is indien dat economisch verantwoord is.'

Voor dit addendum wordt op deze definitie aangesloten. Het essentiële verschil met het reguliere ontwerp uit de Leidraad Zee- en Meerdijken is dat bij robuust ontwerpen terdege rekening gehouden wordt met de *inherente onzekerheden* die de ontwerpbelasting kent. Hiermee kan in het ontwerp rekening gehouden worden middels een robuustheidstoetslag.

3.2 Relevante uitgangspunten voor robuust ontwerpen

De meest relevante en actuele documenten voor robuust ontwerpen van waterkeringen langs meren zijn op dit moment:

- *De Leidraad Rivieren (2007)*
- *Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor Rivierdijken (TROB, 2007).*
- *Addendum I bij de Leidraad Rivieren t.b.v. het ontwerpen van rivierdijken (2008)*

In deze documenten wordt ingegaan op het robuust ontwerpen en wordt tevens de meerpeilstijging op het IJsselmeer voor diverse WB21-klimaatscenario's behandeld (zie Leidraad Rivieren 2007, p. 80 en TROB H. 9).

De ontwerpbelasting en ontwerpregels van meerdijken zijn gegeven in de *Leidraad Zee- en Meerdijken (1999)*. De ontwerpbelasting voor een faalmechanisme (bv. hoogte) is daarbij gebaseerd op de vigerende hydraulische randvoorwaarden. Deze werden in de HR2006 voor het faalmechanisme hoogte met het probabilistische rekeninstrumentarium Hydra-M bepaald.

Bij robuust ontwerpen kan men in principe twee soorten onzekerheden onderscheiden:

1. technische onzekerheden;
2. beleidsmatige onzekerheden.

Bij technische onzekerheden wordt een toeslag op de verwachtingswaarde van de belastingparameter toegevoegd die de inherente modelonzekerheid of statistische onzekerheid in rekening brengt. Bij beleidsmatige onzekerheden zou een toeslag in rekening kunnen worden gebracht als gevolg van eventuele te verwachten veranderingen in het beleid. Hierbij wordt in dit addendum van het volgende uitgegaan:

- *Voor statistische onzekerheid in de extrapolatie van langjarige meetreeksen naar maatgevende extreme omstandigheden wordt geen toeslag in rekening gebracht;*
- *Voor beleidsonzekerheden worden geen toeslagen meegenomen;*
- *Voor technische onzekerheden als modelonzekerheden worden wel toeslagen in rekening gebracht (zie &4.5).*

3.3 Invulling van het begrip uitbreidbaarheid

De essentie van uitbreidbaarheid is dat er altijd rekening mee moet worden gehouden dat in de toekomst een 'zwaarder' ontwerp voor de waterkering nodig is. Redenen voor een zwaarder ontwerp kunnen bijvoorbeeld versnelde klimaatsverandering, scherpere normen of nieuwe inzichten zijn. Het is maatschappelijk ongewenst dat het oorspronkelijke ontwerp deze verzwaring onmogelijk of onevenredig duur maakt. Voor een goed (robuust) ontwerp is het nodig te onderzoeken of het economisch en maatschappelijk aantrekkelijk is het ontwerp zo uit te voeren dat het in de toekomst gemakkelijk uit te breiden is om aan de zwaardere eisen te voldoen. Het zal duidelijk zijn dat deze invulling veel ruimte laat. Essentieel is echter dat in de uitwerking rekening wordt gehouden met economische en/of maatschappelijke belangen.

Het ontwerp dient onderbouwd in te gaan op de economische en maatschappelijke afweging tussen investeren op de korte en investeren op de lange termijn.

4. Uitwerking aspecten voor ontwerp en robuustheid

4.1 Inleiding

De volgende aspecten worden in het vervolg van dit hoofdstuk behandeld:

1. *Planperiode*: Wat is de te hanteren planperiode (2050 of 2100) voor het ontwerp?
2. *Ontwerpbelastingen*: Hoe wordt de toekomstige ontwikkeling van de ontwerpbelasting bepaald?
3. Wordt rekening gehouden met de *ruimtelijke kwaliteit*?
4. Welke *robuustheidstoelagen* kan men hanteren?
5. Wordt rekening gehouden met de *uitbreidbaarheid* van het ontwerp?

4.2 Planperiode

Een belangrijk punt bij het ontwerp van een waterkering is de planperiode. Deze wordt hier beschreven conform de gangbare praktijk.

De uitgangspunten voor de planperiode zijn beschreven in de Leidraad Zee- en Meerdijken (1999).

In de regel worden dijken ontworpen voor 50 jaar aangezien bij een langere periode onzekerheden in het ontwerp groot worden en gemaakte kosten een onnodig risico kunnen vormen. Dijken kunnen (indien voldoende rekening wordt gehouden met uitbreidbaarheid, zie §4.6) meestal eenvoudig worden aangepast in een later stadium.

Voor constructies die minder gemakkelijk te wijzigen zijn dan grondconstructies, zoals kunstwerken (b.v. spuumiddel ES2) of in geval van kostbare aanlegprojecten (IJburg) wordt met een langere periode van 100 jaar of meer gewerkt aangezien de kosten van latere ingrepen erg hoog kunnen zijn. Dit geldt uiteraard niet voor vervangbare onderdelen van een dergelijk kunstwerk die een veel kortere technische levensduur hebben (denk aan software en kabels voor energievoorzieningen).

Zie voor verdere uitgangspunten rond de planperiode paragraaf 5.2.2 uit de Leidraad Rivieren, dl 1.

4.3 Ontwerpbelastingen

De uitgangspunten voor dimensionering en de reguliere ontwerpbelastingen zijn beschreven in de Leidraad Zee- en Meerdijken (1999). Voor het bepalen van de ontwerpbelasting worden de vigerende hydraulische randvoorwaarden als basis gehanteerd.

De toetsbelasting uit de vigerende hydraulische randvoorwaarden (HR) wordt vervolgens vertaald naar het einde van de planperiode. Daarnaast wordt een toeslag voor een aantal ontbrekende factoren en processen toegevoegd. Toeslagen die besproken worden bij het regulier ontwerpen in de Leidraad zijn voor zetting, klink, buistoten, seiches (*incl. slingeren*), etc. De toeslag voor buistoten en seiches (10 cm in 2006) is gegeven in de HR en moet daaruit worden overgenomen.

Toename van de ontwerpbelasting gedurende de planperiode komt in de eerste plaats door toename van het maatgevende hoogwater (het meerpeil bij maatgevende omstandigheden met daaraan toegevoegd de opzet door opwaaiing) als gevolg van de zeespiegelstijging en evt. toename van de opwaaiing op het meer. Als gevolg van de zeespiegelstijging neemt het meerpeil evenredig toe tenzij er verandering plaatsvindt in de spuicapaciteit van het meer op de omgeving. Daarnaast zal indien het meerpeil stijgt ook de golfbelasting op de dijk toenemen.

In de Leidraad Zee- en meerdijken wordt niet specifiek ingegaan op de mate van zeespiegelrijzing en te hanteren scenario's (deze kwamen pas in 2000 beschikbaar), en de ontwikkelingen in de spuicapaciteit van het spuumiddel in de Afsluitdijk (ES2). Evenmin wordt iets gezegd over de toename in de opwaaiing en de bodemdaling. Deze aspecten zijn echter wel van wezenlijk belang en worden daarom in &4.3.1- &4.3.5 nader uitgewerkt.

4.3.1. Relatie meerpeil IJsselmeer en de zeespiegelstijging

Het spuumiddel ES2 in de Afsluitdijk dient in 2016 klaar te zijn. Het spuumiddel is zo ontworpen dat tot 2050 geen meerpeilverhoging hoeft te worden meegenomen in het ontwerp van waterkeringen(+0 cm). Na 2050 dient er wel uitgegaan te worden van peilverhoging van het IJsselmeer. Zonder verdere uitbreiding van de spuicapaciteit naast ES2 zal het meerpeil dus vanaf 2050 gekoppeld zijn aan de zeespiegelstijging. In dit addendum is dit een belangrijk uitgangspunt.

Naast de vraag welk scenario voor meerpeilstijging en opwaaiing (samen de waterstand) gehanteerd moet worden, is het allereerst van belang op welke wijze de zeespiegelstijging in het meerpeil kan worden verdisconteerd. De zeespiegel is immers de bepalende factor voor het meerpeil op de langere termijn.

Relatie meerpeil en zeespiegelstijging

ES2 bevat extra spuigaten naast de bestaande en verdubbelt aldus de spuicapaciteit. Dientengevolge kan het verschil bij spuien tussen meerpeil en zeepeil (bij eb) niet 50cm zijn maar gereduceerd worden tot 25 cm. Dus kan er 25 cm zeespiegelstijging worden opgevangen, oftewel meerpeilstijging (2100) = zeespiegelstijging (2100) – 25 cm.

De verdubbeling van de spuicapaciteit (ES2) in de Afsluitdijk wordt volledig meegenomen. De extra capaciteit kan direct worden doorvertaald in het meerpeil voor het IJsselmeer. Dit resulteert in een reductie van het meerpeil van 25 cm, dus kan er na aanleg van ES2 25 cm van de zeespiegelstijging extra worden opgevangen. Het meerpeil zal in dit geval gegeven de gekozen klimaatscenario's (zie 4.4) tot 2050 niet toenemen, maar daarna wel.

4.3.2. Relatie meerpeil Markermeer en meerpeil IJsselmeer

Voor de ontwikkeling van het meerpeil van het Markermeer is er d.d. 1 januari 2009 het ontwerp van de Beleidsnota IJsselmeergebied als onderdeel van het ontwerp Nationaal Waterplan dat d.d. 12 december 2008 door de ministerraad is vastgesteld en is vrijgegeven voor de inspraak. Het Nationaal Waterplan bevat de volgende passage:

“Het kabinet kiest ervoor om zowel het Markermeer als de Veluwerandmeren los te koppelen van het IJsselmeer. Dat betekent, dat er in het Markermeer-IJmeer en de Veluwerandmeren een peilregime wordt gevoerd dat (beter) tegemoet komt aan wat nodig is voor een ecologisch duurzame ontwikkeling en in het Markermeer-IJmeer mogelijkheden biedt voor beperkte buitendijkse bebouwing. De Houtribdijk wordt voorzien van een gemaal.”

Er is gebleken uit recente modelstudies (Kramer et. al, 2008) dat de meerpeilstijging voor de KNMI'06 klimaatscenario's in het Markermeer voor het huidige sturingsregime van de sluizen in de Houtribdijk, in 2100 50-60% bedraagt van de meerpeilstijging in het IJsselmeer. Hier ronden wij dit af op 60% stijging van het peil van het Markermeer. Dit wordt in de betreffende studie een *ontkoppelde* variant genoemd omdat het IJsselmeer gedurende de winter niet loost op het Markermeer zodat wordt meegegaan met de wens van een gedifferentieerd peilbeheer van Markermeer en IJsselmeer. Deze variant leidt in combinatie met een extra spuumiddel ES2 voor een KNMI-'06-G scenario tot een (winter)meerpeilstijging op het Markermeer van 0 cm in 2050 en 21 cm in 2100.

De variant als bedoeld in het Nationaal Waterplan gaat echter uit van een ontkoppeling, maar in de zin dat het wintermeerpeil van het Markermeer ook niet meer afhangt van de zeespiegelstijging. In deze variant dient het geloosde water en de neerslag op het Markermeer te worden weggemaakt. Daarvoor is de bouw van gemalen nodig die in 2050 gereed moeten zijn.

In het ontwerp Nationaal Waterplan is voorzien in een zekere toename van het wintermeerpeil op het Markermeer door een toegenomen seizoensdynamiek van het meerpeil. Dit zal leiden tot enige verhoging van de maatgevende waterstand. Omdat gemalen waarschijnlijk niet onder alle omstandigheden perfect zullen werken (tenzij zeer hoge kosten worden gemaakt) zal de maatgevende waterstand ook toch enigszins gaan toenemen met een stijging van het IJsselmeerpeil. Hoeveel precies de som van deze 2 onzekerheden is op de maatgevende waterstand is op dit moment lastig in te schatten, mede omdat er nog geen politieke besluiten zijn genomen over de hoogte van de investeringen. Gezien dit dilemma wordt gekozen voor een bovengrensbenadering voor dijkontwerpen met een planperiode van 50 jaar, en voor een maatwerkoptie tussen een ondergrens en een bovengrens voor ontwerpen met een langere planperiode. De bovengrens betreft de ontkoppelde variant volgens het huidige sturingsregime. De ondergrens betreft een niet stijgend meerpeil.

Een keuze voor dijkontwerpen met volgens de bovengrensbenadering geeft op termijn voldoende ruimte aan de boven geschetste onzekerheden met betrekking tot de variant volgens het ontwerp Nationaal Waterplan.

Voor de peilontwikkeling op het Markermeer wordt het volgende aangehouden: voor ontwerpen waarvan de planperiode 50 jaar (of korter) is, en waarvan de planperiode eindigt voor 1-1-2076 wordt 60% van de stijging van het wintermeerpeil op het IJsselmeer meegenomen op het Markermeer. Hiermee wordt aangesloten op de huidige situatie (huidige sturingsregime van de sluizen en gemalen van het Markermeer). Voor alle overige ontwerpen is maatwerk noodzakelijk afhankelijk van de peilontwikkeling. Hierbij wordt als ondergrens een niet stijgend wintermeerpeil als bedoeld in het ontwerp Nationaal Waterplan d.d. 12 december 2008 aangehouden en als bovengrens het huidige sturingsregime.

4.3.3. Klimaatscenario's

In deze sectie wordt de zeespiegelrijzing direct gekoppeld aan de toename van het meerpeil op het IJsselmeer. Daarmee is ook de meerpeilstijging in het Markermeer na 2050 vastgelegd.

Voor waterbeheer zijn inmiddels de KNMI-scenario's vastgelegd in het *Nationaal Bestuursakkoord Water* (NBW, 2008). De keuze is gemaakt om deze scenario's ook toe te passen op het merengebied voor veiligheid, in het bijzonder op het ontwerpen van meerdijken. Hier wordt vanwege continuïteit in het beleid de keuze gemaakt het KNMI'06 scenario G voor zeespiegelrijzing te volgen. Deze aanpak is consistent met het beleid in de kust (TAW middenscenario's conform §7.2.2 van de Leidraad Zandige Kust en zoals gevolgd in het recente ontwerp kader zwakke schakels 2008), de Leidraad Rivieren en met de PKB Ruimte voor de Rivier. Voor ruimtereservering moet worden uitgegaan van het KNMI'06 W-scenario.

Uitgangspunt voor de absolute zeespiegelrijzing en meerpeilstijging

van het IJsselmeer (gebied I, in m+NAP) zijn de KNMI '06 klimaatscenario's. Volg het G scenario voor het dijkontwerp en W voor de ruimtereservering.

4.3.4. Toename golfhoogte door klimaatverandering

Ook de golfbelasting stijgt met de meerpeilstijging door klimaatverandering. Een extra toeslag op de golfhoogte voor de planperiode moet worden toegevoegd aan de golfhoogte volgens de volgende regel: (*golfhoogte/totale diepte*) = *Constant (C')*.

Een (conservatieve) aanname in het ontwerpconcept 2004 voor de zwakke schakels is $C' = 0.6$. Uit recente studies is de waarde $C' = 0.45$ bepaald voor ondiepe meren zoals Lake George (Young and Babanin, 2006) en het IJsselmeer en Slotermeer (Bottema, 2007; zie ook van der Westhuysen en De Waal, 2007). Dit is daarmee de beste keuze voor het ontwerp van meerdijken.

Dit geeft in formule $\Delta H_s = 0.45 * \Delta d$, met ΔH_s de toename in golfhoogte en Δd de meerpeilstijging. In de dieptebepaling wordt *geen* robuustheidstoeslag voor de waterstand te worden verwerkt. Bij gebruik van een probabilistisch model als Hydra-M voor het ontwerp kan van deze formule worden afgeweken door gebruik te maken van de door het model berekende aanpassing van golfhoogte.

De golfperiode wordt niet aangepast voor de zo berekende meerpeilstijging, omdat hiervoor geen goede formule op ondiep water beschikbaar is. Zo is een formule voor de golfperiode die gebaseerd is op behoud van golfsteilheid in de brekerzone niet geldig.

De toename van golfhoogte met meerpeilstijging wordt volgens de regel $\Delta H_s = 0.45 * \Delta d$ in rekening gebracht, met Δd de meerpeilstijging volgens het klimaatscenario (en zonder robuustheidstoeslag). Bij gebruik van een probabilistisch model als Hydra-M voor het ontwerp kan van deze formule worden afgeweken door gebruik te maken van de door het model berekende aanpassing van golfhoogte.

4.3.5. Bodemdaling

De KNMI'06 scenario's corresponderen met een absolute zeespiegelstijging. Voor een robuust dijkontwerp wordt hieraan een lokale bodemdaling toegevoegd aangezien deze geografisch sterk verschillend is in Nederland (een gemiddelde waarde is 10 cm/eeuw maar de ruimtelijke spreiding hierin is groot).

Voor een dijkontwerp wordt aan de absolute zeespiegelstijging een lokale bodemdaling toegevoegd aangezien deze geografisch sterk verschillend is in Nederland.

4.4 Ruimtelijke inrichting

Op de meren kan als gevolg van natuurontwikkeling of aanleg van woongebieden of eilanden in het meer de fysica van het systeem wijzigen. Zo kan bijvoorbeeld door aanleg van voorlanden voor

natuurontwikkeling de golfbelasting afnemen. In andere gevallen zou de golfbelasting juist kunnen toenemen. Ook kan de opwaaiing veranderen.

Omdat deze ontwikkelingen van tevoren lastig zijn in te schatten moet hier alleen rekening mee worden gehouden indien de ontwikkeling al in uitvoering is, al in bestaand beleid is meegenomen, of dat vrijwel zeker zal gaan gebeuren. Dan dient middels golfmodellering en/of hydrodynamische modellering het effect op de golfbelasting en waterstand zo goed als mogelijk te worden ingeschat en meegenomen te worden in het ontwerp van de kering.

In geval er met grote mate van zekerheid ruimtelijke projecten in het meergebied plaatsvinden, worden de effecten hiervan op de belastingen ingeschat middels modellering.

4.5 Robuustheidstoelagen

4.5.1. Algemeen

Voor inherente onzekerheden in de ontwerpbelasting kunnen robuustheidstoelagen worden toegevoegd. Doel van de robuustheidtoeslag is om een ontwerp te maken met een robuuste levensduur, i.e. bij eventuele tegenvallers zal het ontwerp niet direct falen. Daarbij kan men in principe twee soorten onzekerheden onderscheiden:

1. technische onzekerheden;
2. beleidsmatige onzekerheden.

Bij technische onzekerheden wordt een toeslag op de verwachtingswaarde van de belastingparameter toegevoegd die de inherente (model-)onzekerheid in rekening brengt. Bij beleidsmatige onzekerheden zou een toeslag in rekening kunnen worden gebracht als gevolg van eventuele te verwachten veranderingen in het beleid. *Voor beleidsonzekerheden worden in dit addendum geen toelagen meegenomen.*

In de Leidraad Rivieren worden op grond van technische onzekerheden de volgende toelagen genoemd:

- Afvoeren (effect op waterstand). Hieraan kan eventueel ook een toeslag op onzekerheid in spuicapaciteit worden toegevoegd
- Modelonzekerheid (waterstanden en golfparameters)
- Onzekerheid in de klimaatontwikkeling (extra toename wind en waterstand, en het effect op golven)

Hierop wordt in dit addendum aangesloten. Daarnaast zijn er nog *statistische* onzekerheden in de belastingparameters die ontstaan bij de extrapolatie van langjarige meetreeksen naar maatgevende omstandigheden. Deze worden niet beschouwd aangezien er geen zinvolle schatting van kan worden gemaakt.

4.5.2. Robuustheidstoelagen IJsselmeer en Markermeer

De volgende robuustheidstoelagen worden voor het IJsselmeer (gebied I) en Markermeer (gebied II) aangehouden:

- Er wordt geen rekening gehouden met robuustheidstoelagen in de afvoeren en de spuicapaciteit. In §4.3.1 is bij de gekozen relatie tussen wintermeerpeil en zeespiegelstijging al voldoende marge ingebouwd voor deze onzekerheden.
- Voor de inherente onzekerheid in de waterstand kan een toeslag worden toegevoegd voor de onzekerheid in de meerpeilstatistiek (deze is gebaseerd op een vrij korte reeks) en voor onzekerheden in de windopzet doordat de windoverdrachtsfunctie bij extreme omstandigheden (bij windsnelheid groter 11 bft) onzeker is. Deze onzekerheden zijn helaas lastig in te schatten. Hier wordt een toeslag van +20 cm op de waterstand (=meerpeil+opzet) gehanteerd.
- Voor de onzekerheid in de *golfparameters* wordt een toeslag van 10% in golfhoogte en golfperiode voor modelonzekerheid gehanteerd¹.
- Toelagen voor veranderingen (trends) in het *windklimaat* worden niet toegepast aangezien zij niet significant zijn in vergelijking met de natuurlijke variabiliteit van de wind (zie ook Dillingh in Barends et al., 2008²). Verder is gebleken dat een nieuw inzicht over een langere *stormduur* niet meegenomen hoeft te worden omdat dit van weinig invloed is op de *stormopzetduur* (Q. Lodder, 2007). Bovenstaande heeft als gevolg dat er geen (klimaat)toeslag of verandering van de *stormbelastingduur* en *stormopzetduur* wordt meegenomen.
- Verder moet worden aangenomen dat toelagen op de waterstand als gevolg van buistoten en slingeringen niet toenemen;
- Voor onzekerheden in de klimaatverandering kan middels een gevoeligheidsanalyse onderzocht worden of het ontwerp voor een planperiode volgens een KNMI'-06 W (maximumscenario) kan worden gedaan mits de kosten dit toestaan. Conform de adviezen in Leidraad Zandige Kust en Leidraad Rivieren wordt dit echter meegenomen onder de uitbreidbaarheid van het ontwerp en hier niet als robuustheidstoelage opgenomen.

Hierbij wordt opgemerkt dat, indien men middels modellering met de gangbare wiskundige modellen als Hydra-M en WAQUA kan aantonen dat andere waarden voor de robuustheidstoelagen beter zijn, kan worden afgeweken van dit advies.

Robuustheidstoelagen kunnen voor het IJsselmeer en Markermeer worden toegevoegd voor de inherente onzekerheid in de golfparameters (10% toeslag op golfhoogte en golfperiode) en de waterstand (wintermeerpeil en opwaaiing, +20 cm toeslag op MHW), tenzij men middels modellering met de gangbare wiskundige modellen als Hydra-M en WAQUA kan aantonen dat andere waarden beter zijn. Robuustheidstoelagen voor beleidsonzekerheden of voor

¹ Volgens het RIZA rapport 99.047 ('Achtergronden Hydraulische Belastingen IJsselmeergebied') komt dit overeen met onzekerheidstoelagen van 2σ (waterstand), σ (golfhoogte) en σ (golfperiode).

² Barends, Dillingh, Hanssen en van Onselen. Bodemdaling langs de Nederlandse Kust.

een extra toename in de klimaatontwikkeling worden hier niet meegenomen.

De wijze waarop de verschillende toeslagen worden toegepast, wordt nader toegelicht in Bijlage A.

4.5.3. Inschatting effect robuustheidtoeslagen op de kruinhoogte

Het effect van de toeslagen op de kruinhoogte is ingeschat met het *Technisch Rapport golfploop en golfoverslag bij dijken* (TR-23, 2002) voor een dijkprofiel met enige ruwheid en met een realistische berm op het IJsselmeer. De ruwheidsfactor is daarbij $\gamma_f = 0.95$ en de bermfactor is $\gamma_b = 0.75$. Vervolgens is voor 3 locaties op het IJsselmeer (FL2, FL5 aan de westzijde en FL37 aan de oostzijde) het effect berekend van de robuustheidstoelage op de kruinhoogte³.

Station FL2 is gelegen bij Rotterdamse Hoek waarvoor schattingen van onzekerheden in de kruinhoogte uit de literatuur bekend zijn. Voor Rotterdamse Hoek volgt uit de bovengegeven aanpak voor deze robuustheidstoelage een kruinhoogtetoeename van ca. 75 cm. Voor het RIZA rapport 99.047 volgt uit een Monte Carlo simulatie voor onzekerheden van $1 \cdot \sigma$ in diverse parameters als wind, golfparameters, waterstand e.a. (en met meeneming van hun onderlinge correlaties wat dan noodzakelijk is) een netto kruinhoogtetoeename van 81 cm. Voor een vergelijkbare studie van TU Delft (Meermans, 1999; Figuur 7 in dat rapport) volgt een netto kruinhoogtetoeename van 76 cm.

Geconcludeerd wordt dat de netto kruinhoogtetoeename in al deze 3 studies meer dan goed in overeenstemming is voor locatie Rotterdamse Hoek al zijn de gebruikte methodes verschillend. Wel moet gesteld worden dat in de hier gehanteerde relatief eenvoudige methodiek geen statistische onzekerheid is meegenomen, doch alleen de onzekerheid in de modellen in vergelijking tot de metingen. Gegeven de korte *gemeten* tijdreeksen van ongeveer 10 jaar van de *golfparameters* op het IJsselmeer is het niet zinvol om van de statistische onzekerheid een schatting te geven.

Uiteindelijk komt de voorgestelde robuustheidstoelagen op waterstand en golfparameters neer op de volgende robuustheidstoelagen op de *kruinhoogte*:

- IJsselmeer westzijde circa 50 cm;
- IJsselmeer oostzijde circa 75 cm;
- Markermeer circa 35 cm.

Het is niet toegestaan deze schattingen direct toe te passen, ze dienen slechts als indicaties. De effecten op de kruin moeten per dijklocatie worden berekend volgens de stappen aangegeven in de samenvatting (Hfd 1).

De wijze waarop de verschillende toeslagen worden toegepast, wordt nader toegelicht in Bijlage A.

³ Dit is pas een extra toename van de kruin indien de dijk wordt afgekeurd, er een ontwerp wordt gemaakt en er geen enkele overhoogte aanwezig zou zijn.

4.6 Uitbreidbaarheid of ruimtereservering

Er moet altijd rekening worden gehouden met de noodzaak van een zwaarder ontwerp in de toekomst indien bepaalde ontwikkelingen een tegenvallende trend blijken te vertonen. In de Leidraad Zandige Kust en de Leidraad Rivieren wordt geadviseerd het middenscenario te hanteren, tenzij het ruimtereservering betreft.

Voor de ruimtereservering moet rekening gehouden worden met tegenvallers, en moet het KNMI'06-scenario W worden gehanteerd. Volgens de Leidraad Zandige Kust is deze reservering voor 200 jaar.

Als voorbeeld van ruimtereservering wordt gegeven het aanlegproject IJburg (Markermeer) waar werd uitgegaan van een meerpeilstijging van +1 meter/eeuw voor de gebruikte planperiode. Deze is onderverdeeld in +30 cm/eeuw voor het ontwerp en +70 cm/eeuw voor ruimtereservering (zgn. "30/70" variant). Nadere informatie is gegeven in Leidraad Rivieren (dl 1, § 5.4).

Voor het IJsselmeer lijkt er voldoende ruimte voor vrijwaringszones. Op advies van de beheerders wordt in dit addendum 100 jaar als uitgangspunt genomen, maar tevens wordt aangegeven dat hiervan kan worden afgeweken indien men daarbij op onoverkomelijke juridische of ruimtelijke bezwaren stuit.

<p>Houdt rekening met de uitbreidbaarheid van het ontwerp. Ruimtereservering dient te gebeuren voor een periode van 100 jaar volgens KNMI '06 scenario W, tenzij er onoverkomelijke juridische of planologische bezwaren liggen.</p>

5.Toepassing

Controleer de consequenties van het ontwerp volgend uit hoofdstuk 4 op haalbaarheid in termen van kosten en uitvoerbaarheid. Indien mocht blijken dat het ontwerp om bepaalde dwingende redenen niet uitvoerbaar is of economisch niet verantwoord is, kan een extra gevoeligheidsanalyse voor diverse scenario's (met planperiode 50 jaar en planperiode 100 jaar) worden gedaan om toch tot een haalbaar ontwerp te komen. Afwijkingen dienen te worden gekwantificeerd en te worden onderbouwd. De scenario's betreffen de KNMI-06 scenario's.

6.Literatuur / referenties

Leidraad Zee- en Meerdijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1999.

Leidraad Zee- en Meerdijken. Basisrapport. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1999.

RIZA rapport 99.047. Achtergronden Hydraulische Belastingen IJsselmeergebied. 1999.

W. Meermans. Onzekerheidsanalyse Hydra-M. TU Delft 1999.

Technisch Rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken (TR-23). Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 2002.

J.P. de Waal. Wind-modellering voor bepaling waterstanden en golven. RIZA werkdocument 2003.118X. 2003.

Leidraad Zandige Kust. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 2004.

KNMI. Klimaatscenario's in de 21e eeuw. KNMI, De Bilt. 2006.

I.R. Young en A. V. Babanin. The form of the asymptotic depth-limited wind wave frequency spectrum, J. Geophys. Res., Vol. 111, C06031. 2006.

Q. Lodder. Achtergrondrapport HR2006 voor de meren. Rijkswaterstaat. 2007.

Leidraad Rivieren. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007.

Technisch rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007.

M. Bottema. Measured wind-wave climatology in Lake IJssel. RWS-RIZA rapport 2007.020. 2007.

S. van Vuren en J. Kwadijk. Toepassingen van klimaatscenario's in het waterbeheer- en beleid. WL IDelft Hydraulics rapport Q4437. 2007.

A. J. van der Westhuysen en J.P. de Waal, Observed finite depth wave growth limit in the wadden Sea. Deltares rapport H5107.35, 2008.

N. Kramer, G. Verhoeven en R. Passchier. Analyse veiligheid en zoetwatervoorzieningen IJsselmeergebied. Deltares rapport Q4505. 2008 (*met oplegnotitie van de RWS-Waterdienst*)

Nationaal Bestuursakkoord Water-actueel. 2008.

Nationaal Waterplan. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 12 december 2008.

D.Dillingh. Klimaatverandering en Zeespiegelstijging. P.189-204 in:
Bodemdaling langs de Nederlandse Kust. Editors: F. Barends, D. Dillingh, R.
Hanssen en K. van Onselen. IOS Press. 2008.

Bijlage A Toelichting op de wijze van rekenen met toeslagen

In deze Bijlage wordt een rekenwijze gegeven waarmee robuustheids- en andere toeslagen (zoals opgenomen in het addendum) eenduidig gehanteerd kunnen worden.

Bij toepassing van het addendum zijn er in het bijzonder 2 problemen:

- Ten eerste maakt de ontwerper in de praktijk gebruik van een (wettelijk vastgesteld) modelinstrumentarium (Hydra-M voor 2006) waarmee het addendum niet helemaal exact kan worden gevolgd.
- Ten tweede beschrijft het addendum niet expliciet hoe de verbanden zijn tussen de diverse robuustheidstoelagen. Het addendum zegt echter wel *expliciet* dat de robuustheidstoelag voor de golfparameters niet gestapeld moet worden met de toeslagen voor klimaatverandering.

Om een heldere werkwijze te krijgen met enige flexibiliteit voor de beheerder in het te kiezen ontwerpinstrument, wordt de volgende werkwijze met stappen A-D voorgesteld:

- A. Bereken de effecten van de absolute klimaatverandering en de bodemdaling op waterstand en golfparameters. Indien hiervoor een model uit het wettelijk toetsinstrumentarium wordt gebruikt (voor 2006 Hydra-M) zal de formule met de factor 0,45 als bedoeld in par. 4.3.4 niet exact kunnen worden gereproduceerd. Van deze formule kan worden afgeweken indien een model waarmee de HR zijn vastgesteld wordt gebruikt of een vergelijkbaar model. Een klimaateffect op de golfperiode dat ongelijk nul is, is dan ook toegestaan. Indien er met modellen wordt gewerkt waarmee grote afwijkingen voor de kruinhoogte resulteren t.o.v. de formule met de factor 0,45, moet het verschil inzichtelijk worden gemaakt.
- B. Pas op de belastingparameters voor waterstand en golven die komen uit stap A de robuustheidstoelagen toe als gegeven in par. 4.5.2 van het addendum.
- C. Bereken met de belastingparameters die komen uit stap B met een golfoverslagmodel (bij voorkeur PC-overslag) een kruinhoogte.
- D. Voeg aan de kruinhoogte uit C nog toe de normale toeslagen op kruinhoogte volgens de Leidraad Zee- en Meerdijken waaraan in het addendum expliciet is gerefereerd in de inleiding van par. 4.3.