

# Memo

Aan  
Voorverkenning Deltaprogramma IJsselmeer

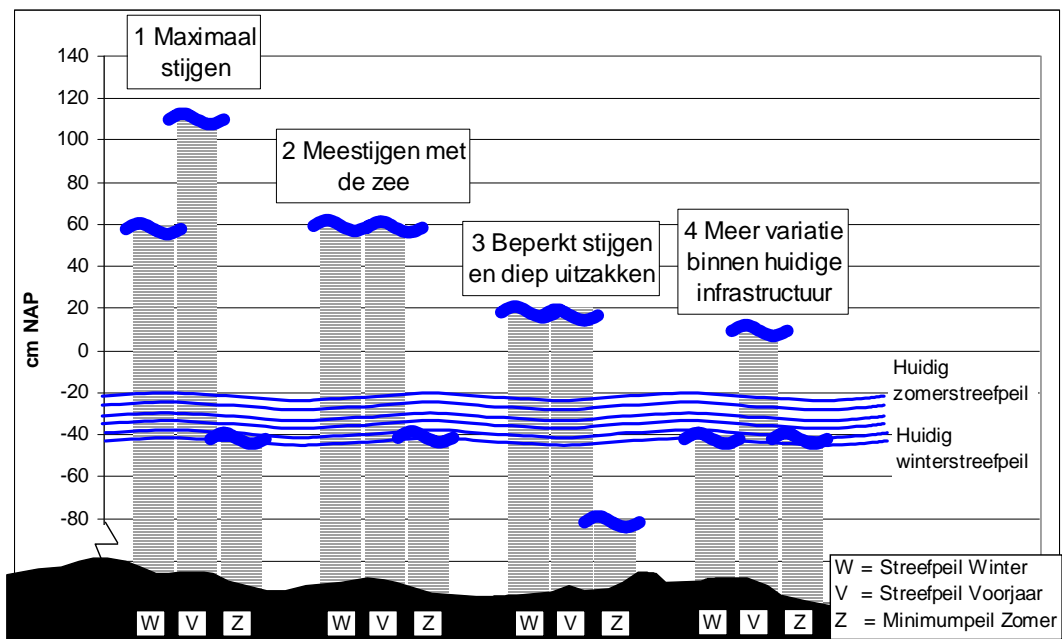
Datum  
8 februari 2010

Aantal pagina's  
36

Onderwerp  
Toekomstig Peilbeheer IJsselmeer  
Thema Waterveiligheid: strategieën en effect van maatregelen

## 1 Inleiding

Binnen de studie Voorverkenning Toekomstig Peilbeheer IJsselmeer zijn vier strategieën voor het IJsselmeer geformuleerd. Iedere strategie bestaat uit een peilregime (Figuur 1) samen met een pakket aan maatregelen.



Figuur 1: Vier onderscheiden peilregimes in de voorverkenning.

In deze memo wordt eerst een beschrijving gegeven van de veiligheidsbenadering die in Nederland wordt toegepast. Vervolgens worden de vier strategieën getoetst op het thema waterveiligheid. Er wordt gekeken wat het pakket aan maatregelen inhoudt door de gevolgen van maatregelen te vergelijken met de huidige situatie waaronder de gevolgen voor bestaande waterkeringen, sluisen, stuwen en gemalen. Aanvullend wordt een opsomming gegeven van kennisleemtes.

In de bijlagen wordt ingegaan op gebiedsinformatie (Bijlage A), wordt een overzicht gegeven van de huidige situatie van de dijken (Bijlage B), worden de gevolgen besproken van het aanscherpen van de normfrequentie (Bijlage C) en worden de gevolgen besproken voor de hoogte van de dijken bij peilopzet (Bijlage D). In Bijlage E wordt ingegaan op de effecten van een verhoging van het meerpeil op de scheepvaart. Bijlage F bevat een overzicht van het beschikbare kaartmateriaal. Bijlage G tenslotte geeft de samenstelling van de projectgroep.

## 2 Veiligheidsbenadering

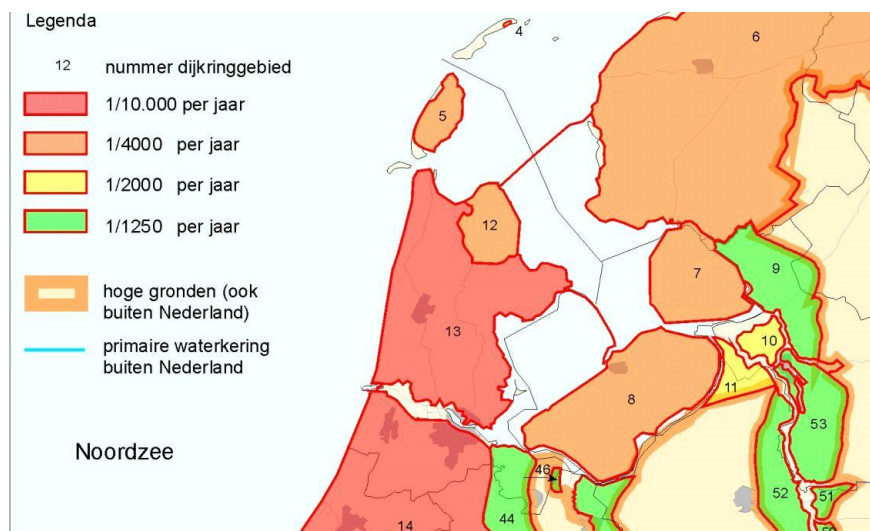
Elke vijf jaar worden de dijken getoetst om de veiligheid van het gebied achter de dijk te waarborgen. Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat levert hiervoor de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en Voorschrift Toets Veiligheid (VTV). De HR geeft voor de primaire dijken de maatgevende waterstand en golfhoogte aan, die de dijk minimaal aan moet kunnen. Het VTV schrijft de voorschriften voor, waarmee de dijkbeheerder zijn dijken kan toetsen.

### 2.1 Normfrequentie

Bij het bepalen van de maatgevende belasting wordt gebruik gemaakt van een veiligheidsbenadering, die in de jaren zestig door de toenmalige Deltacommissie (1960) is ontwikkeld. Hierin heeft elk dijkkringgebied een normfrequentie voor de waterstanden waartegen de waterkeringen bestand moeten zijn. De normfrequentie geeft dan het veiligheidsniveau weer.

De normfrequentie is afhankelijk van de aard van de bedreiging, de omvang en het belang van het gebied, en gevolgen van falen. Bij de aard van de bedreiging gaat het over de vraag komt de bedreiging van een rivier, de zee of een meer. Bij de omvang en het belang gaat het om aspecten zoals het aantal inwoners en het geïnvesteerde economische kapitaal. Bij de gevolgen van falen gaat het over aspecten zoals de overstromingsdiepte en of het een overstroming betreft met zoetwater of met zoutwater.

Gebieden met een relatief grote bewoningsdichtheid en waar veel economische activiteit plaatsvindt worden beter beschermd. De dijken in het IJsselmeergebied worden beschermd tegen waterstanden die eens in de 2.000, 4.000 of 10.000 jaar voorkomen. (zie Figuur 2)



Figuur 2 Dijkringen in Noord-Nederland en de bijbehorende veiligheidsnormen

Buitendijkse gebieden zijn vaak omgeven met een regionale waterkering. Voor deze regionale waterkering gelden aparte veiligheidsnormen. Dat is bijvoorbeeld het geval voor Kampereiland. Voor de regionale kering van Kampereiland wordt een zogenaamde inundatienorm gehanteerd van 1 keer per 50 jaar. Een nieuwe norm is in voorbereiding. De Flevolandse buitendijkse gebieden kennen een norm van ten minste 1/10 van de bestaande norm voor de primaire

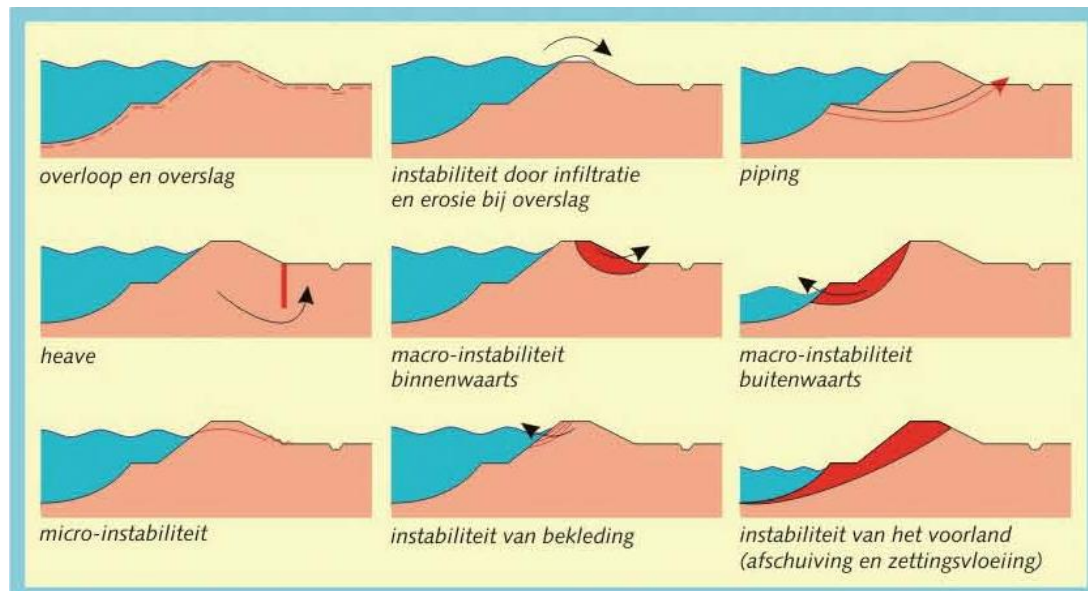
keringen. Nieuwe buitendijkse gebieden moeten worden aangelegd met een norm voor de regionale kering van 1/1.000 (Flevoland, 2009). Voor het merendeel van de buitendijkse gebieden is (nog) geen informatie beschikbaar over de norm die gehanteerd wordt.

Aanbeveling 1 van (Deltacommissie, 2008) is om voor de periode tot 2050 het veiligheidsniveau van alle dijkkringen met een factor 10 te verhogen. Verbetering van het veiligheidsniveau kan worden gerealiseerd door dijkverhoging. Om inzicht te krijgen in wat het aanscherpen van de norm met een factor 10 betekent, kan de decimeringshoogte worden gebruikt (Bijlage C). Geconcludeerd kan worden dat de decimeringshoogte kan worden losgekoppeld van het effect van peilverhoging en de daarbij behorende dijkverhoging. De decimeringshoogte is het grootst in de IJsseldelta en het Ketelmeer.

Bij het aanscherpen van de norm moet wel in gedachten gehouden worden dat bij een hoger meerpijl de gevolgen van een overstroming hoger uit zullen vallen want de overstromingsdiepte zal groter zijn. Het kan dan nodig zijn om de kans op een overstroming omlaag te brengen door een verdere aanscherping van de norm.

## 2.2 Faalmechanismen

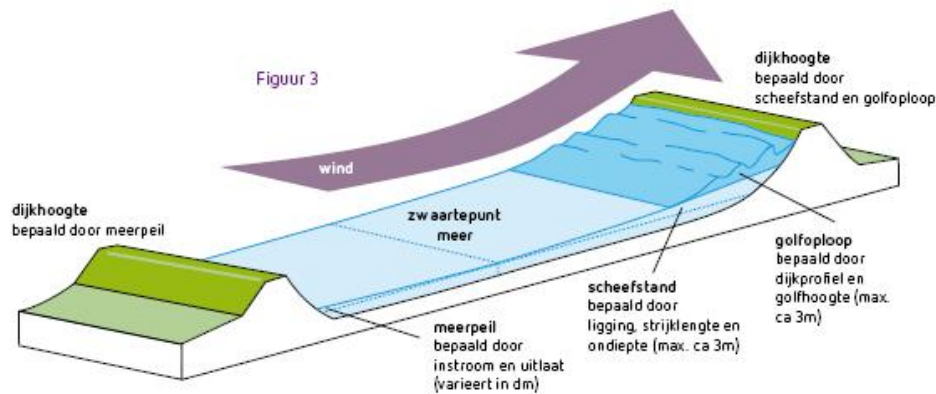
Er zijn verschillende faalmechanismen die een dijk kunnen doen bezwijken bij toenemende belasting. In Figuur 3 zijn de belangrijkste faalmechanismen weergegeven. Golfoverloop en Golfoverslag zijn de mechanismen die de meeste kans geven op falen van een dijk.



Figuur 3 Faalmechanismen van dijken en dammen (bron: VTV, 2006 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007))

Golfoverloop komt voor als de dijk te laag is en water over de dijk loopt. Golfoverloop wordt bepaald door het meerpeil en de scheefstand als gevolg van windinvloeden over lange afstanden, uitgedrukt in het Maatgevende Hoog Waterpeil (MHW).

Golfoverslag is water dat over de dijk heen slaat en wordt veroorzaakt door golfloop tegen de dijk als gevolg van de wind, uitgedrukt in het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN). De intensiteit van een golfloop wordt mede bepaald door het profiel van de dijk; hoe flauwer het buitentalud, hoe meer de golven uitdoven en hoe minder hoog ze oplopen tegen de dijk. Ook de aanwezigheid van een dam in de nabijheid van de kust zorgt voor het uitdoven van golven.



Figuur 4 De belasting op de dijk bestaat uit de hoogte van het meerpeil, de scheefstand en de golfploop. Deze drie aspecten bepalen de minimaal benodigde dijkhoogte. (Bron: Beleidsnota IJsselmeergebied, 2009)

De huidige veiligheidsbenadering gaat ervan uit dat 90% van de waarschijnlijkheid van bezwijken van een dijk wordt bepaald door de mechanismen golfoverloop en golfoverslag. Het project Veiligheid Nederland in kaart fase I (VНК I) 2005 heeft laten zien dat piping belangrijker is dan iedereen dacht aangezien de mate van waarschijnlijk van optreden van dit bezwijkmechanismen groter is dan 10%. De toetsronde 2006-2011 wordt nu uitgevoerd. Geleidelijk komt door de toetsingsronde en VНК per dijkkring nieuwe, aanvullende informatie beschikbaar over mogelijke actuele bezwijkmechanismen.

### 2.3 Toekomstige ontwikkelingen

Voor het toetsen op waterveiligheid bestaat de ambitie om het toetsproces te veranderen. Momenteel wordt gekeken naar de normfrequentie voor een bepaalde locatie. In de toekomst wordt naar verwachting overgestapt naar het overstromingsrisico van een dijkkring bestaande uit de kans op overstromen en de gevolgen die er mee gepaard gaan. Ook voor het IJsselmeergebied moet dat dan verder worden uitgewerkt. Het lijkt voor de hand te liggen om op dat moment de aanpassing van de norm samen te nemen met de effecten van een mogelijke stijging van het meerpeil en een daarbij behorende toename van de overstromingsdiepte.

Bij het bepalen van de keuze van maatregelen om het watersysteem klimaatbestendig te maken, dienen zowel de gevolgen van normaanscherping als van peilopzet te zijn onderkend. Mogelijke maatregelen opgesteld vanuit waterveiligheid kunnen vervolgens goed aansluiten bij de lokale ambities voor gebiedsontwikkeling.

## 3 Strategie 1: maximaal stijgen

Een viertal strategieën zijn opgesteld (Figuur 1) om in te spelen op de gevolgen van klimaatverandering. Iedere strategie bestaat uit een peilregime in het IJsselmeer en een pakket aan maatregelen in het gebied.

Strategie 1 is gebaseerd op de verwachting dat in 2100 de zeespiegel met 1,3 m zal zijn gestegen en dat de afvoer van water van de rivieren het W+ scenario volgt (Deltacommissie, 2008). Bij Strategie 1 bedraagt de maximale peilstijging in 2100 vermoedelijk anderhalve (1,5)

meter boven het huidige streefpeil in de winter (-0,4 m NAP). Dit sluit aan bij aanbeveling 11 van (Deltacommissie, 2008).

Bij Strategie 1 ligt het streefpeil in de winter op +0.6 m NAP. Dat is ongeveer het niveau dat nodig is om te kunnen blijven spuien onder vrij verval. In het voorjaar wordt een verhoging van het meerpeil nagestreefd en stijgt het peil tot +1,1 m NAP (1,5 meter boven het huidige streefpeil in de winterperiode). Daarmee wordt een maximale zoetwatervoorraad gecreëerd. In de zomer kan het peil, afhankelijk van de vraag naar zoetwater, uitzakken. De ondergrens is daarbij het huidige streefpeil in de winter (-0,4 m NAP). Op deze wijze komt een waterschijf met een dikte van 1,5 meter beschikbaar.

### **3.1 Effect van verhoging meerpeil met 1,5 meter**

Een verhoging in het IJsselmeer van het meerpeil met 1,5 meter in de zomerperiode heeft een grote impact op de waterveiligheid van het IJsselmeergebied. Ook het Ketelmeer, het Vossemeer en de IJssel- en Vechtdelta zullen effecten merken omdat deze in open verbinding staan met het IJsselmeer.

Door een stijging van het meerpeil zal de waterdiepte toenemen. Een grotere waterdiepte betekent dat de scheefstand zal afnemen en de golfoploop zal toenemen (Figuur 4). Als met deze drie facetten rekening wordt gehouden, dan is een schatting te geven van het tekort aan de benodigde dijkhoogte van de waterkeringen gelegen langs het IJsselmeer (ter Maat en van Meurs, 2010). In deze benadering is een conversiefactor gehanteerd voor de verandering van scheefstand en golfoploop. Als vertrekpunt is de bestaande hoogte van de waterkeringen genomen; dus inclusief een eventueel aanwezige overhoogte, met dien verstande dat de dijk in de huidige situatie ook moet voldoen. Afhankelijk van de locatie en de peilopzet in het IJsselmeer bedraagt het tekort aan benodigde dijkhoogte 0 tot 2,5 meter. In totaal zal peilverhoging gevolgen hebben voor ongeveer 340 km aan waterkeringen (zie Bijlage D). Door het tekort aan dijkhoogte, zullen historische steden gelegen aan het water zoals Kampen onderlopen en steden zoals Hindelopen en Stavoren veranderen. Door stevige keringen aan te leggen, zullen deze steden hun historische waarde wellicht verliezen. Het tekort aan dijkhoogte is relatief beperkt voor de kust van Friesland en van West-Friesland, de voormalige Zuiderzeedijken, want op deze plaatsen is relatief meer overhoogte aanwezig.

Uit de studie (ter Maat en van Meurs, 2010) komt naar voren dat peilverhoging het meest merkbaar zal zijn voor windgedomineerde locaties waar grote strijklengtes aanwezig zijn. Dat is het geval aan de oostzijde van het IJsselmeer voor Dijkkring 6, 7 en 8. Verhoging van het meerpeil draagt dan bij aan een vergroting van de golfoploop en op deze locaties zijn de golven namelijk dieptelimiterend en door de verhoging van het waterpeil ook de golfhoogte toenemen.

Dijkkring 12 en 13 liggen aan de Westzijde van het IJsselmeer. Bij het bepalen van de hoogte van de kruin van de dijk is hier vooral het meerpeil dominant. Het tekort aan dijkhoogte zal voor deze locaties bij benadering ongeveer gelijk zijn aan de stijging van het meerpeil.

In het Ketelmeer en in de monding van de IJssel zal het effect door kleinere strijklengtes relatief ook kleiner zijn. Het Ketelmeer en de monding van de IJssel worden vooral beïnvloed door opstuwing van water uit het IJsselmeer. Het Ketelmeer heeft een veel kleiner oppervlak dan het IJsselmeer. Opstuwing vanuit het IJsselmeer door opwaaiing heeft dan een relatief groot effect op het waterpeil. Als het meerpeil in het IJsselmeer toeneemt, zal de opstuwing van water in het Ketelmeer relatief kleiner worden.

In het kader van een mogelijke aanleg van een bypass bij Kampen is onderzoek verricht naar de effecten. Ook de effecten van een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer op het maatgevende hoogwater nabij de monding van de IJssel vormde een punt van onderzoek. Resultaten van modelberekeningen laten zien dat onder maatgevende omstandigheden, dat is in de winterperiode, de maatgevende waterstand aan het eind van het Ketelmeer bij de IJsseldelta toeneemt met 84 cm bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,5 m (RWS Waterdienst, 2009).

Naarmate de afstand tot de monding van de IJssel toeneemt, wordt het waterpeil steeds meer gedomineerd door de aanvoer van water door de IJssel en minder door het meerpeil in het IJsselmeer. In dit licht moet nog wel de invloed van de combinatie van een hoge rivierafvoer op de IJssel en stormopzet bij hogere meerpeilen worden bekeken. In de huidige situatie worden de maatgevende omstandigheden langs de benedenloop van de IJssel vanaf de monding tot ongeveer bij Kampen bepaald door waterstand in het IJsselmeer (wind gedomineerd). Bovenstrooms van Kampen ligt het overgangsgebied van circa zeven à acht kilometer lengte waarin een combinatie van wind en rivierafvoer de maatgevende waterstand bepalen. Bovenstrooms van Zalk worden de maatgevende omstandigheden langs de benedenloop van de IJssel bepaald door rivierafvoer. Een verhoging van het IJsselmeerpeil zal het wind gedomineerde deel en het overgangsgebied verschuiven in de richting van Zwolle / Hattem. Nader onderzoek moet uitwijzen hoe groot deze verschuiving is en hoe dit doorwerkt in de toetspeilen.

Bij een hoger meerpeil en een toekomstige hoogwatergeul (bypass Kampen) zal de daling van de maatgevende waterstand tussen Kampen en Zwolle minder zijn (circa 30 cm) dan onder de huidige situatie (circa 65 cm) zonder verhoging meerpeil en zonder bypass (RWS-Waterdienst, 2009).

Voor de Vechtdelta zullen de effecten van windopzet kleiner zijn dan voor de overige locaties omdat de Vechtdelta wordt beschermd door de balgstuw Ramspol. De balgstuw Ramspol is in 2002 in gebruik genomen om bij stormopzet in het Ketelmeer de ingang van het Zwarte Meer af te sluiten en zo het achterliggende gebied van het Zwarte Water tot aan Zwolle te beschermen. Bij een verhoging van het waterpeil ter plaatse van de balgstuw met meer dan een halve meter en een stroming die naar het oosten is gericht sluit de balgstuw. Met de bouw van de balgstuw is een grootschalige dijkverzwaring in het achterland voorkomen

Berekeningen zijn uitgevoerd met SOBEK en Hydra-VIJ voor de Vecht-delta (HKV en Arcadis, 2009). Onder de maatgevende afvoersituatie, herhalingstijd van een keer per 1.250 jaar, bedraagt de optredende waterstand bij Genemuiden + 1,08 bij een peilopzet in het IJsselmeer met 1,5 m en +0,65 m bij een peilopzet van 1,0 m in het IJsselmeer. Ook in andere plaatsen gelegen aan de Vecht worden verhogingen van de waterstand voorzien bij een peilopzet van 1,5 m in het IJsselmeer; Zwolle 0,6 m, Dalfsen 0,15 m en Ommen 0,05 m. Opgemerkt moet worden dat dit voor een wintersituatie geldt.

Bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer zal wel zal een ander sluitregime van de balgstuw gehanteerd moeten gaan worden. Bij een stijging van het meerpeil met 1,5 m zijn ook in de Vechtdelta significante effecten te verwachten. Door de peilverhoging zal de berging in het Vechtsysteem namelijk kleiner worden, waardoor voor de duur van de sluiting van Ramspol eerder problemen ontstaan in het stroomgebied van de Vecht, Zwarte Water, Zwarte Meer en haar boezems (Meppelerdiep, Weteringen van Zwolle). Een mogelijkheid is om de afvoer van

de Vecht bij een gesloten balgstuw om te leiden. Het water kan dan oostelijk via een randmeer om de Noordoostpolder worden afgevoerd. Dit laat zich vergelijken met een loskoppeling van Markermeer en IJsselmeer.

Ook voor de rivier de Vecht zal er, net als voor de rivier de IJssel, rekening gehouden moeten worden met de combinatie van een hoge rivierafvoer op de Vecht en stormopzet bij een hoger meerpeil. Een Noordwesterstorm of harde wind kan namelijk samenvallen met een hoge aanvoer van water via de Vecht. Resultaten van berekeningen laten zien dat onder maatgevende omstandigheden de maatgevende waterstand bij Zwolle circa 60 cm hoger zal zijn als het meerpeil in het IJsselmeer met 1,5 m verhoogd wordt (HKV en Arcadis, 2009),

Naast de hoogte van de kruin van de dijk ('dijktafelhoogte') zijn er ook nog andere mechanismen die een dijk kunnen doen bezwijken bij toenemende belasting; macro- en micro-instabiliteit, instabiliteit van de bekleding en zettingsvloeiing (Figuur 3). Door verhoging van het meerpeil komen ondieptes en vooroevers behoorlijk onder water te liggen. De bijdrage van dergelijke ondieptes op het remmen van golfoploop zal dan grotendeels verdwijnen. Extra dijkverhoging zal dat moeten ondervangen. Een alternatief voor deze extra dijkverhoging is het ophogen van deze ondieptes.

Het watersysteem van het IJsselmeer is momenteel volledig ingericht op de huidige streefpeilen. Door peilverhoging kunnen waterschappen en het Markermeer niet meer onder vrij verval lozen op het IJsselmeer, sluizen en stuwen kunnen niet meer optimaal functioneren en de doorvaarhoogte van bruggen wordt verkleind. Wel zijn er in het IJsselmeer uitsluitend beweegbare bruggen aanwezig, maar bij een lagere doorvaarhoogte zullen de bruggen vaker open moeten. (Meijer et al., 2009) geeft een overzicht van aanwezige bruggen, inclusief de brughogtes, in het gebied. Als het peil in het IJsselmeer stijgt met 1,5 m zullen de wachttijden voor de beroepsvaart bij sluizen toenemen. Dit leidt tot economische schade. Als gevolg van langere wachttijden, zal ook meer behoefte ontstaan aan wachtsteigers bij sluizen en aan overnachtingsmogelijkheden.

Kennishiaten:

- Wat is de benodigde verhoging van de waterkeringen in het IJsselmeer, inclusief Ketelmeer, Vossemeer en IJssel-Vecht delta, als het meerpeil in het IJsselmeer 1,5 meter hoger wordt in combinatie met het klimaatscenario W+2100?
- Wat is de benodigde verhoging van de waterkeringen in het IJsselmeer als de veiligheidsnorm wordt aangescherpt?
- Wat is de benodigde sterkte van de primaire waterkeringen als het meerpeil in het IJsselmeer 1,5 meter hoger wordt in combinatie met het klimaatscenario W+ 2100?
- Wat is het effect van een verhoging van het meerpeil met anderhalve meter voor de historische steden gelegen aan het water?
- Wat zijn de gevolgen van een verhoging van het meerpeil met anderhalve meter op aanwezige gemalen, bruggen, sluizen en stuwen?
- Wat zijn de effecten van peilverhoging op de buitendijks gelegen gebieden?
- Wat zijn de effecten van peilopzet in het vroege voorjaar voor de waterveiligheid?

Aanwezige kennis:

- Schatting van benodigde verhoging van de waterkeringen in het IJsselmeer, inclusief Ketelmeer, Vossemeer en IJssel-Vecht delta, als het meerpeil in het IJsselmeer 1,5 meter hoger wordt.

### 3.2 Aanpassingen ten behoeve van 1,5 meter peilverhoging

Door de verhoging van het meerpeil met 1,5 meter is grootschalige versterking van de dijken nodig. Volgens Strategie 1 gebeurt deze versterking door een combinatie van traditionele versterking, de aanleg van doorbraakbestendige dijken<sup>1</sup> en de aanleg van overslagbestendige dijken<sup>2</sup> op plaatsen waar achter de dijk natte natuur ligt. Wel dient gekeken te worden naar berging en afvoer van overgeslagen water. Buitendijkse gebieden lopen onder of worden bedijkt. Er ontstaan harde overgangen van land naar water.

Als gevolg van de verhoging van het meerpeil met 1,5 meter veranderen buitendijkse landbouw- en natuurgebieden in ondiep water. Aanleg van luwtedammen dragen ook bij aan de waterveiligheid door de golfoploop te remmen. Aanleg van voorlanden, vooroever dammen en luwtedammen reduceren de golfhoogte, waardoor de belasting op de dijk afneemt. Vooral bij windgedomineerde locaties kan dit effect groot zijn.

Een alternatief voor het ophogen van de dijken in het Ketelmeer, Vossemeer en Vecht- en IJsseldelta is binnen Strategie 1 de aanleg van een stormvloedkering bij de Ketelbrug of voor de aanleg van een dijk evenwijdig aan de Noordoostpolder (NOP) om de monding van de IJssel te verlengen tot nabij Lemmer.

In de huidige situatie zorgt een Noordwesterstorm op het IJsselmeer door een grote strijklengte over het gehele IJsselmeer, voor aanzienlijke scheefstand in de vorm van opstuwing in het Ketelmeer en in de IJsseldelta. De waterstanden op het Ketelmeer, in de IJsseldelta en in de Vechtmonding kunnen in de huidige situatie bij een zware storm meer dan drie meter opgestuwd worden. Door de aanleg van een kering bij de Ketelbrug of het verlengen van de monding van de IJssel vermindert de opwaaiing in het Ketelmeer<sup>3</sup>.

Een nadeel van het afsluiten van het Ketelmeer is dat de aanvoer van de IJssel niet kan worden afgevoerd. Wanneer een kering bij de Ketelbrug langdurig gesloten is, zullen de waterstanden achter de kering toenemen door de aanvoer van water door de IJssel. Het probleem is hier groter dan bij de Ramspolkering, omdat de afvoer van de IJssel meerdere malen groter is dan de afvoer van de Vecht. Om de aanvoer van water door de IJssel bij een gesloten kering af te voeren kan in Strategie 1 eventueel een randmeer langs de Noordoostpolder worden aangelegd; het zogenaamde vergeten randmeer. Het overtollige water wordt dan op dit randmeer geborgen en via het randmeer afgevoerd naar Lemmer. De monding van het randmeer bij Lemmer ligt anders op de wind in vergelijking met de ingang van het Ketelmeer. Verder onderzoek moet uitwijzen of op deze wijze voldoende water geloosd kan worden op het IJsselmeer. De aanleg van een Ketelkering en een randmeer langs de

---

<sup>1</sup> Een doorbraakbestendige dijk is een dijk die zo hoog en sterk is dat de kans op een doorbraak onwaarschijnlijk klein is. In de toekomst hoeft een dergelijk dijk niet te worden versterkt. Op de dijk kan worden gebouwd en het dijklichaam zelf biedt mogelijkheden voor bijvoorbeeld ondergrondse infrastructuur of seizoensberging van water.

<sup>2</sup> In locaties waar natte natuur achter de dijk aanwezig is, of de ambitie aanwezig is om dat te gaan aanleggen, kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een overslagbestendige dijk met behoud van de huidige hoogte. De bekleding van de dijk wordt dan zodanig aangepast dat geen erosie optreedt als gevolg van het hogere debiet dat over de dijk stroomt. Punt van aandacht is dan wel de berging en afvoer van het overgeslagen water.

<sup>3</sup> Daar staat echter tegenover dat de benedenloop van de IJssel (Kampen, Zwolle) bij hoogwater op de rivier te maken krijgt met een hogere opstuwing. Het gezamenlijk effect zal in belangrijke mate afhangen van de vormgeving.



Noordoostpolder kan achtereenvolgens, en dus gefaseerd aangelegd worden. Ook de volgorde is punt van onderzoek. Het kan namelijk zijn dat de aanleg van een randmeer langs de Noordoostpolder voor voldoende afvoer en voor extra berging zorgt van water dat door opstuwing het Ketelmeer in stroomt.

Een alternatieve maatregel om opstuwing in het Ketelmeer te voorkomen onder maatgevende omstandigheden is de aanleg van een compartimenteringsdam evenwijdig aan de IJsselmeerdijk van Flevoland met een beweegbare kering nabij de Ketelbrug. De kering wordt gesloten bij stormopzet. Bij een sluiting van de kering kan de afvoer van de IJssel gedurende enkele dagen geloosd worden op het Markermeer. Het Markermeer krijgt dan de functie van calamiteitenberging met een optreden van een keer in de tien jaar. Kennisleemtes zijn in hoeverre een tijdelijke verhoging van het waterpeil in het Markermeer tot maximaal 25 centimeter strijdig zou kunnen zijn met de randvoorwaarde uit het NWP (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009a) en de doelstelling van het Markermeer, namelijk verbetering van de ecologie, niet verstoort.

Bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer zullen gemalen, stuwen, sluizen en eventueel bruggen aangepast moeten worden. Waterschappen zullen gemalen moeten bouwen om hun water te lozen en tevens moet er een gemaal op de Houtribdijk worden gebouwd om water van het Markermeer te kunnen afvoeren naar het IJsselmeer.

Kennishiaten:

- Wat is het effect van de aanleg van een stormvloedkering ter hoogte van de Ketelbrug op het MHW van het Ketelmeer?
- Wat is het effect van de aanleg van een dijk evenwijdig aan de Noordoostpolder om de monding van de IJssel te verlengen tot nabij Lemmer?
- Wat is het effect van de aanleg van een compartimenteringsdam evenwijdig aan de IJsselmeerdijk van de Flevopolder en voorzien van een beweegbare kering nabij de Ketelbrug? Wat zijn de gevolgen van het gebruik van het Markermeer als calamiteitenberging eens in de tien jaar?
- Wat is het effect van de aanleg een randmeer langs de Noordoostpolder op de MHW van het Ketelmeer en Zwarte Meer?
- Hoe moet het sluitregime van de Ramspolkering worden aangepast?
- Welke volgorde van uitvoering Ketelkering versus randmeer Noordoostpolder is wenselijk?
- Wat is de kostenverhouding tussen het verhogen van de waterkeringen gelegen langs het Ketelmeer en de aanleg van een randmeer langs de Noordoostpolder?
- Wat is de benodigde capaciteit van de poldergemalen om het overtollige water vanuit de waterschappen uit te slaan op het IJsselmeer?
- Wat is de benodigde capaciteit van een gemaal op de Houtribdijk?
- Welke aanpassingen zijn nodig aan sluizen, stuwen en bruggen?
- Welke aanpassingen zijn nodig om te voorkomen dat historische steden onderlopen?

Aanwezige kennis:

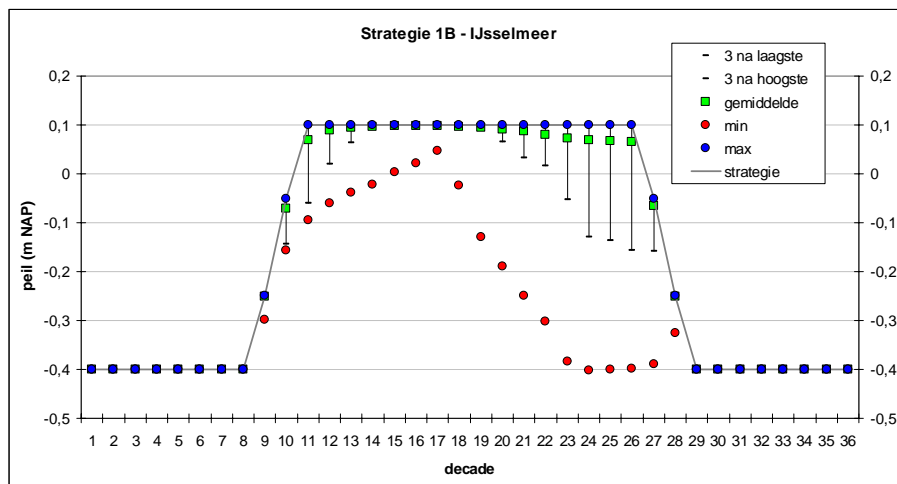
- Ligging huidige bruggen, sluizen en stuwen.

### 3.3 Extra peilverhoging in het voorjaar

De kans op zware stormen in het voorjaar en tijdens de zomer is kleiner dan in de winter. In deze periode van het jaar is er dan als het ware een veiligheidsmarge beschikbaar in het watersysteem. Deze marge zou gebruikt kunnen worden om het meerpeil in het voorjaar te verhogen om zo een extra buffercapaciteit te ontwikkelen als zoetwatervoorraad.

De kans op zware stormen neemt af rond 1 april. Tot dusverre is er weinig tot geen onderzoek geweest naar de exacte begin- en einddatum van het stormseizoen. Als verhoging van het meerpeil in het vroege voorjaar van belang is, is het nodig meer te weten over de periode waar de kans op stormen afneemt en of er samenhang aanwezig is tussen deze kans en het optreden van een droog voorjaar.

Naast het bepalen van de duur van het stormseizoen zal uitgezocht moeten worden of het verhogen van het meerpeil in het vroege voorjaar wel altijd mogelijk zal zijn. Kortom, is de afvoer van de IJssel wel voldoende om in een droog jaar in het vroege voorjaar het gewenste, en dan zeer zeker benodigde, meerpeil te bereiken want de buffercapaciteit zal vooral aangesproken gaan worden tijdens droge zomers. In (Meijer et al., 2010) is met behulp van het droogte-instrumentarium, onderzoek gedaan naar de maximale haalbare peilopzet in het voorjaar voor het scenario dat hoort bij W+2050. Wanneer half maart begonnen wordt met opzetten (decade acht), zal het peil in het voorjaar in een droog jaar met minder dan 0,5 meter opgezet kunnen worden (zie "min" in Figuur 5). De ambitie om vanaf decade tien het meerpeil gebracht te hebben op 0,1 m+NAP kan dan niet worden gerealiseerd. In deze studie is aangenomen dat het opzetten van het peil vanaf half maart geen gevaar oplevert voor de waterveiligheid.



Figuur 5 Peilverloop voor peilstrategie 1b op het IJsselmeer (Meijer, 2010)

Opgemerkt kan verder worden dat extra peilverhoging in het voorjaar gepaard zal gaan met het niet spuien op de Afsluitdijk. Dat betekent dat het chloride gehalte in het water van het IJsselmeer omhoog gaat.

Kennishiaten:

- Definitie van het stormseizoen. Vanaf welke datum in een droog jaar is de kans op zware stormen klein genoeg om het meerpeil in het vroege voorjaar te verhogen tot 1.1 m + NAP? (klimaatscenario's meenemend)
- Is er in het vroege voorjaar van een droog jaar voldoende aanvoer van water vanuit de IJssel het meerpeil in het IJsselmeer te verhogen? Hierbij kan gebruik gemaakt worden van het droogte-instrumentarium. (misschien is deze vraag meer een vraag die valt onder de watervoorziening).
- Ontwikkel een methode om stormen in het voorjaar en de zomer mee te nemen in benadering voor de waterveiligheid.

- Onderzoek naar de zoutontwikkeling in het IJsselmeer in het voorjaar en de zomer als er minder gespuid gaat worden.

## 4 Strategie 2: meestijgen met de zee

In Strategie 2 is het peilregime in de winter en het voorjaar een meerpeil van +0,6 m NAP. Bij dit meerpeil is spuien op de Waddenzee onder vrij verval mogelijk. In de zomer kan het meerpeil, afhankelijk van de watervraag, uitzakken tot -0,4 m NAP. De dikte van de beschikbare waterschijf voor de zoetwatervoorziening bedraagt daarmee 1,0 meter.

### 4.1 Effect van 1,0 meter verhoging van het meerpeil

Het effect van het verhogen van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,0 meter zal effect hebben op veiligheid van alle dijken. De effecten zullen iets kleiner zijn, maar wel vergelijkbaar zijn met Strategie 1. Volgens (Ter Maat en van Meurs, 2010) zal het dijkhoogte tekort van de primaire dijken rond het IJsselmeer liggen tussen nul en twee meter (zie Bijlage D). Het effect van peilverhoging op gemalen, stuwen, sluizen en doorvaarhoogte onder de bruggen zal vergelijkbaar zijn met Strategie 1.

Voor de IJssel laten modelberekeningen () zien dat in de winter bij een peilopzet van 1,0 m in het IJsselmeer de maatgevende waterstand in de IJsseldelta omhoog gaat met 0,55 m (RWS-Waterdienst, 2009).

Berekeningen zijn uitgevoerd met SOBEK en Hydra-VIJ voor de Vecht-delta (HKV en Arcadis, 2009). Onder de maatgevende afvoersituatie, herhalingstijd van een keer per 1.250 jaar, bedraagt de optredende waterstand bij Genemuiden +0,65 m bij een peilopzet van 1,0 m in het IJsselmeer.

Kennishiaten:

- Wat is de minimaal benodigde dijkhoogte voor de primaire keringen gelegen langs het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer en de Vecht- en IJsseldelta bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,0 meter in combinatie met klimaatscenario dat hoort bij W+2100?
- Wat is de minimaal benodigde sterkte voor de primaire keringen langs het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer en Vecht- en IJsseldelta bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,0 meter in combinatie met klimaatscenario dat hoort bij W+2100?
- Wat is het effect voor de historische steden gelegen aan het water bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,0 m?
- Wat is het zijn de gevolgen op aanwezige gemalen, sluizen en stuwen bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 1,0 m?

Aanwezige kennis:

- Schatting van benodigde verhoging van de waterkeringen in het IJsselmeer, inclusief Ketelmeer, Vossemeer en IJssel-Vecht delta, als het meerpeil in het IJsselmeer 1,0 meter hoger wordt.

### 4.2 Aanpassingen bij een verhoging van het meerpeil met 1,0 meter

Om de veiligheid van het land achter de waterkeringen te waarborgen zullen bij Strategie 2 ook de dijken grootschalig versterkt moeten worden. Twee alternatieve mogelijkheden voor het gebied van Ketelmeer, Zwarte Meer en de monding van IJssel en Zwarte Water zijn aanwezig.

Allereerst de aanleg van een stormvloedkering nabij de Ketelbrug, eventueel in combinatie de aanleg van een randmeer langs de Noordoostpolder en de aanleg van dijken langs intensief bebouwde, en in gebruik zijnde, buitendijkse gebieden. De ander is de aanleg van een dijk evenwijdig aan de Noordoostpolder (NOP) om de monding van de IJssel te verlengen tot nabij Lemmer. Bij beide maatregelen wordt de opwaaiing teruggebracht ter plaatse van het Ketelmeer en verder stroomopwaarts. De opstuwing achter de kering neemt echter toe in periodes waar sluiting van kering samenvalt met een hoge aanvoer van water via de IJssel. Naast de versterkingsmethoden die bij Strategie 1 genoemd zijn, kunnen voorlanden en luwtedammen worden aangelegd.

Als gevolg van de verhoging van het meerpeil met 1,0 meter veranderen buitendijkse landbouw- en natuurgebieden in ondiep water. Aanleg van luwtedammen dragen ook bij aan de waterveiligheid door de golfloop te remmen. Aanleg van voorlanden, vooroever dammen en luwtedammen reduceren de golfhoogte, waardoor de belasting op de dijk afneemt. Vooral bij windgedomineerde locaties kan dit effect groot zijn.

Nabij de Friese kust dient de mogelijkheid onderzocht te worden naar de aanleg van een zwakke "zandmotor" om ondiepe vooroevers op een natuurlijke manier te laten aangroeien. Ondiepe vooroevers hebben effect op de natuurkwaliteit en dragen bij aan het doven van golfloop tegen een dijk.

In (Verheij, 2006) is onderzoek gedaan naar het effecten van eilanden, ondiepten en vooroevers op de golfloop en de reductie op de benodigde kruinhoogten van dijken gelegen langs het Markermeer. De hoofdconclusies van deze studie zijn:

- Golfreducerende constructies kunnen een goed middel zijn om de belasting op de dijk te reduceren en dus dijkverhoging te verminderen of zelfs te voorkomen. Afhankelijk van de situering, de afstand tot de dijk en de hoogte van de golfreducerende constructie zijn verlagingen van de maatgevende belastingen te bereiken van 0,5 tot 2 m.
- De effectiviteit van dergelijke voorzieningen neemt sterk af bij afstanden tot de dijk van meer dan 500 m. Echter als tussen de dijk en een op grotere afstand gelegen golfbreker een moeras aanwezig is, neemt de verlaging van de belasting weer toe.
- Aanliggende voorzieningen als bermen en stranden zijn ook effectief. De mate van effectiviteit is mede afhankelijk van de hoogte van berm of strand.

Ook bij Strategie 2 moeten de sluizen, stuwen en de capaciteit van de poldergemalen worden aangepast en moet er een gemaal geplaatst worden bij de Houtribdijk. De aanpassingen zijn vermoedelijk wel kleiner dan de aanpassingen bij Strategie 1.

Kennishiaten:

- Wat is het effect van voorlanden, vooroevers en luwtedammen op de golfhoogte voor de primaire keringen langs het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer en Vecht- en IJsseldelta?
- Wat is het effect van de aanleg van een stormvloedkering in combinatie met het randmeer langs de Noordoostpolder op de minimaal benodigde dijkhoogte?
- Wat is de benodigde capaciteit van de poldergemalen en het gemaal op de Houtribdijk?
- Hoe kan de dynamiek van het watersysteem worden gebruikt om natuurlijke processen van sedimentatie ter plaatse van ondiepe gebieden te laten gebeuren?

#### **4.3 Effect gedurende een droog jaar**

In een droog jaar stijgt het chloridegehalte van het water in het IJsselmeer door hogere concentraties in het aangevoerde water tijdens lage rivieraanvoeren en indringing van zout water over de Afsluitdijk (KWR, 2009). In 2050 zal onder het W+ scenario ongeveer in de helft van het aantal jaren het chloridegehalte nabij Andijk naar verwachting boven de norm (150 mg/l) uit het waterleidingbesluit komen. De bovengrens voor glastuinbouw en industrie is eveneens 150 mg/l. De drempelwaarde voor landbouwdoeleinden ligt wat hoger 200 tot 300 mg/l. Meestijgen van het meerpeil in het IJsselmeer met de zeespiegel heeft een positief effect op de kwaliteit doordat de zoute kwel over de Afsluitdijk niet toeneemt.

## **5 Strategie 3: beperkt stijgen en diep uitzakken**

Ook in Strategie 3 is een zoetwaterschijf beschikbaar met een dikte van 1,0 m. De zoetwaterschijf wordt echter maar voor een deel gevonden in peilstijging. De overige ruimte komt beschikbaar door dieper uitzakken. Het streefpeil in de winter en het voorjaar is 0,20 m+NAP. In droge perioden mag het water uitzakken tot -0,8 m NAP. Om dit peilregime te handhaven zal op een gegeven moment (bij meer dan 0.8 m zeespiegelstijging) bemaling op de Afsluitdijk nodig zijn.

#### **5.1 Effect van een verhoging van het meerpeil met 0.6 meter**

Het effect op de minimaal benodigde dijkhoogte van een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 0,6 meter zal kleiner zijn dan bij Strategie 1 en 2. Echter, ook bij een verhoging met 0,6 meter moet rekening worden gehouden met een aanpassing van de dijken. Gebaseerd op de resultaten uit (ter Maat en van Meurs, 2010) ligt het tekort aan dijkhoogte van de primaire keringen rond het IJsselmeer naar verwachting tussen de nul en één meter (zie Bijlage D). Verder zal ook bij Strategie 3 rekening gehouden moeten worden met het effect van peilverhoging op bestaande gemalen, stuwen, sluizen en doorvaarthoogtes onder bruggen.

Kennishiaten:

- Wat is de minimaal benodigde dijkhoogte voor de primaire dijken langs het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer en Vecht- en IJsseldelta bij verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 0,6 meter in combinatie met het klimaatscenario volgens W+2100?
- Wat is de minimaal benodigde sterkte voor de primaire keringen langs het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer en Vecht- en IJsseldelta bij een verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 0.6 meter in combinatie met het klimaatscenario volgens W+2100?
- Wat is het effect voor historische steden gelegen het water bij verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 0,6 meter in combinatie met het klimaatscenario volgens W+2100?
- Wat is het zijn de gevolgen op gemalen, sluizen en stuwen bij verhoging van het meerpeil in het IJsselmeer met 0,6 meter in combinatie met het klimaatscenario volgens W+2100?
- Bovenstaande kennishiaten zijn ook aanwezig als het gaat over de gevolgen van het uitzakken van het meerpeil in het IJsselmeer tot -0,8 m NAP.

#### **5.2 Aanpassingen ten behoeve van een verhoging van het meerpeil met 0,6 meter**

Ook bij Strategie 3 zijn maatregelen nodig om intensief bebouwde buitendijkse gebieden te beschermen. Een mogelijk gevolg van Strategie 3 is dat buitendijkse natuur en landbouwgebieden zullen vernatten, zonder volledig te verdrinken.

Nabij de Friese kust dient de mogelijkheid onderzocht te worden naar de aanleg van een zwakke "zandmotor" om ondiepe vooroevers op een natuurlijke manier te laten aangroeien.

Ondiepe vooroevers hebben effect op de natuurkwaliteit en dragen bij aan het doven van golfoploop tegen een dijk.

Ook bij Strategie 3 is er op de Houtribdijk een gemaal nodig. De benodigde capaciteit bedraagt gemiddeld ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s (Ecorys, 2008). De capaciteit daarvan is even groot als bij Strategie 1 en 2 maar de benodigde opvoerhoogte is geringer. Voor het benutten van het zoete water, zullen er inlaatgemalen moeten worden gebouwd. Sommige bestaande gemalen zullen omgebouwd moeten worden tot zogenaamde tweezijdig werkende gemalen).

Kennishiaten:

- Welke aanpassingen zijn nodig aan bestaande gemalen, sluisen, stuwen en bruggen?
- Welke aanpassingen zijn nodig om te voorkomen dat historische steden onderlopen?
- Hoe kan de dynamiek van het watersysteem worden gebruikt om natuurlijke processen van sedimentatie ter plaatse van ondiepe gebieden te laten gebeuren? Op deze wijze kan wellicht over een lange periode een lokale ondiepte worden opgehoogd en de stijging van het waterpeil volgen.

### 5.3 Effect uitzakken van het meerpeil tot -0,8 m NAP

In Strategie 3 mag het water in droge periode uitzakken tot -0.8 m NAP. Ook bij situaties met laagwater kan de veiligheid in gevaar komen. Een lage buitenwaterstand kan leiden tot onvoldoende stabiliteit van het buitentalud, wat uiteindelijk leidt tot het bezwijken van de dijk. Echter, als de dijk bezwijkt bij een (zeer) lage buitenwaterstand dan is er geen direct inundatie gevaar, maar deze situatie is wel onwenselijk. Bezwijken van dijken bij langdurig laag water komt vooral voor bij veendijken. Echte veendijken komen niet voor rond het IJsselmeer. De primaire keringen gelegen langs het IJsselmeer zijn stabiel genoeg om bij lage waterstanden niet af te gaan schuiven. Echter veen in de ondergrond in combinatie met een lagere grondwaterstand leidt tot klink van de veenlaag en heeft dus een indirect effect op de daarboven gelegen waterkering.

Verlaging van het meerpeil beneden het huidige streefpeil van -0,4 m NAP heeft nadelige gevolgen voor de scheepvaart. De sluisdrempels van de Stevin-, LorentzWest-, Lorentzooost-, Krabbersgat-, Houtrib-, Roggebot- en Prinses Margriet sluisen zullen aangepast moeten worden om scheepvaart mogelijk te houden. (Meijer et al, 2009) geeft per sluis en scheepsklasse een overzicht van de benodigde- en aanwezige sluisdrempels. De beladingsgraad van schepen zal omlaag moeten bij een geringere vaardiepte.

Kennishiaten:

- Wat is het effect van peilverlaging op de samendrukbaarheid van de slappe lagen die aanwezig zijn nabij de monding van de IJssel?
- Wat is het effect van peilverlaging op de grondwaterstand in stedelijke gebieden en vervolgens op de omstandigheden rondom funderingen?
- Welke maatregelen moeten worden getroffen om de IJssel bevaarbaar te houden?

Aanwezige kennis:

- Overzicht van benodigde- en aanwezige sluisdrempels.

### 5.4 Effect gedurende een droog jaar

Tijdens droge jaren zal de aanvoer van water vanuit de IJssel beperkt zijn. Verschillende gevolgen van een lagere aanvoer van water kunnen worden genoemd.

In een droog jaar stijgt het chloridegehalte van het water in het IJsselmeer door hogere concentraties in het aangevoerde water tijdens lage rivieraanvoeren en indringing van zout water over de Afsluitdijk (KWR, 2009). In 2050 zal onder het W+ scenario ongeveer in de helft van het aantal jaren het chloridegehalte nabij Andijk boven de norm (150 mg/l) uit het waterleidingbesluit komen. De bovengrens voor glastuinbouw en industrie is eveneens 150 mg/l. De drempelwaarde voor landbouwdoeleinden ligt wat hoger 200 tot 300 mg/l. Meestijden van het meerpeil in het IJsselmeer met de zeespiegel heeft een positief effect op de kwaliteit doordat de zoute kwel over de Afsluitdijk niet toeneemt. Het diep uitzakken van het meerpeil in de (na)zomer leidt tot een toename van zoute kwel en lek in een periode van het jaar die kritisch is voor de zoetwatervoorziening (w.o. drinkwaterfunctie).

Onder Strategie 3 leidt een lagere aanvoer van water door de rivier de IJssel ook tot een verlaging van het waterpeil. Stroomafwaarts leidt dat tot uitdroging van de waterkeringen. Dit kan gevolgen hebben voor de waterveiligheid. Een lagere aanvoer van water leidt ook tot verlaging van de grondwaterstand achter de dijk. In stedelijk gebied kan dat gevolgen hebben voor de funderingen van gebouwen. Vooral houten palen kunnen leiden onder een verlaging van de grondwaterstand. Stroomopwaarts kan een lager waterpeil in de IJssel de scheepvaart gaan hinderen; de beladingsgraad moet omlaag of schepen kunnen elkaar niet meer passeren. Het plaatsen van stuwen is dan een mogelijke maatregel om het waterpeil op hoogte te houden. In de huidige omstandigheden treden een dergelijk probleem ook al op in een droog jaar; bijvoorbeeld in 2003.

Kennishiaten:

- Onderzoek naar de ontwikkeling van de waterkwaliteit van het water in het IJsselmeer in droge jaren; hoe kan de kwaliteit op een acceptabel niveau blijven?
- Onderzoek naar mogelijkheden om het waterpeil in de rivier de IJssel vast te houden; op welke plaatsen moeten stuwen in de IJssel worden geplaatst?
- Is het mogelijk om stuwen in de nazomer te gebruiken om een laag waterpeil in de IJssel tegen te gaan en in de winter om het effect van opstuwing vanuit het IJsselmeer onder maatgevende (storm)condities tegen te gaan?
- Welke mogelijkheden zijn op nationaal niveau beschikbaar om in periode van droogte relatief meer water via de IJssel te sturen en om in periode van hoge afvoeren relatief minder water via de IJssel te sturen?

## 6 Strategie 4: Meer variatie binnen de huidige infrastructuur

Strategie 4 handhaaft het huidige streefpeil in de winterperiode van -0,4 m NAP. In het voorjaar wordt het peil opgezet tot 0,1 m NAP, om zo een buffer met zoetwater te creëren. In de zomer mag het water uitzakken tot -0,40 m NAP. De vraag is echter in hoeverre dit minimum peil van -0,40 realiseerbaar. Kortom, is de dimensionering van de inlaten naar de omliggende waterschappen zodanig dat water ingenomen kan worden bij een waterpeil dat nabij - 0,4 m NAP ligt. De dikte van de beschikbare schijf aan zoetwater bedraagt daarmee 0,5 m. De dikte van de waterschijf is onder Strategie 4 de helft van de dikte onder Strategie 2 en 3. Voor het handhaven van dit peilregime is op een eerder tijdstip bemaling op de Afsluitdijk nodig, namelijk bij een stijging van de zeespiegel met meer dan 0.2 m. De pompen moet eerder geïnstalleerd worden dan bij Strategie 3 en de pompen moeten ook een grotere capaciteit hebben.

## 6.1 Effect van meer variatie in huidige infrastructuur

Door de aanleg van gemalen op de Afsluitdijk kunnen bestaande streefpeilen in het IJsselmeer gehandhaafd blijven. De waterveiligheid van de aanliggende waterschappen kan dan gewaarborgd blijven zonder extra aanpassingen. (Verhoeven, 2009) heeft onderzoek gedaan naar de benodigde capaciteit van gemalen op de Afsluitdijk:

- Voor het klimaatscenario W+2050 is een capaciteit nodig van ongeveer 500 m<sup>3</sup>/s om het maximale peil in het IJsselmeer niet hoger te laten komen dan in de huidige (referentie) situatie.
- Voor het klimaatscenario W+2100 is een capaciteit nodig van ongeveer 1.500 tot 2.000 m<sup>3</sup>/s om het maximale peil in het IJsselmeer niet hoger te laten komen dan in de huidige situatie.
- Voor het klimaatscenario W+2100 met een zeespiegelstijging van 1,3 m, dit is conform de verwachting van de Delta commissie, is ook een capaciteit nodig van 1.500 tot 2.000 m<sup>3</sup>/s om het maximale peil in het IJsselmeer niet hoger te laten komen dan in de huidige (referentie) situatie.
- Welke mogelijkheden bestaan er op nationaal niveau voor het maken van een afweging om in de winterperiode een andere verdeling van water te hanteren ter plaatse van de Pannerdensche Kop door de afvoer via de IJssel te verminderen.
- Onderzoek naar de mogelijkheid om de bergingscapaciteit van het IJsselmeer maximaal te benutten. Dit kan door te anticiperen op een periode met grote aanvoer door de rivier de IJssel door voorafgaand peilverlaging in het IJsselmeer door te voeren.
- Onderzoek naar de mogelijkheid om de afvoer van de IJssel gedurende de grootste piek enkele dagen te lozen op het Markermeer. Het Markermeer krijgt dan de functie van calamiteitenberging (circa 1/500 jaar?). Nagegaan moet worden in hoeverre een tijdelijke peilverhoging tot bijvoorbeeld maximaal 25 centimeter van het Markermeer strijdig zou kunnen zijn met het NWP1 en of de ecologische kwaliteit van het Markermeer niet in gevaar komt.

## 6.2 Extra peilstijging in het voorjaar

In Strategie 4 wordt het meerpeil in het voorjaar opgezet tot +0,1 m NAP. Net zoals voor Strategie 1 is onbekend vanaf welke datum het meerpeil in het vroege voorjaar opgezet kan worden en of in droge jaren nog voldoende aanvoer van water plaatsvindt om de beoogde en benodigde opzet ook daadwerkelijk te realiseren.

In het Markermeer zal meer peilvariatie plaats gaan vinden om de ecologie in het systeem te bevorderen. In het IJsselmeer zal meer peilvariatie worden doorgevoerd om de voorraad zoetwater te vergroten. Als de beide peilregimes samen vallen is uitwisseling van water via de Houtribdijk steeds mogelijk. Als de peilregimes niet samenvallen, zal er een gemaal op de Houtribdijk nodig zijn.

Kennishiaten:

- Vanaf welke datum in het vroege voorjaar is de kans op zware stormen in een droog voorjaar klein genoeg om het meerpeil te verhogen tot +0,1 m NAP? (klimaatscenario's meenemend). Dit kan ook wel genoemd worden het aanscherpen tijdsperiode van het stormseizoen.
- Welke belemmeringen zijn aanwezig in het watersysteem van het IJsselmeer die verhinderen dat het water kan uitzakken tot – 0,4 m NAP?



- Is er in het vroege voorjaar in een droog jaar wel voldoende aanvoer van water om het meerpeil in het IJsselmeer te verhogen? Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de droogte-instrumentarium. (*misschien is deze vraag meer een vraag die valt onder de watervoorziening*).
- In het IJsselmeergebied is een veelheid van buitendijkse gebieden. Voor sommige is een veiligheidsnorm of inundatienorm vastgesteld. Voer onderzoek uit naar de verschillende normen voor de buitendijs gelegen gebieden en onderzoek of met tijdelijke peilopzet deze gebieden nog voldoen aan deze normen.
- Methode om voorjaar en zomer mee te nemen in veiligheidsberekening.
- Welke aanpassingen zijn nodig aan sluzen, stuwen en bruggen?
- Welke aanpassingen zijn nodig om te voorkomen dat historische steden onderlopen?
- Valt het peilregime in het Markermeer samen met het regime in het IJsselmeer?
- Wat is het energieverbruik van pompen geïnstalleerd op de Afsluitdijk en eventueel de Houtribdijk om het overtollige water uit te slaan en het waterpeil in het IJsselmeer te handhaven op de bestaande niveaus?

## 7 Maatregelen

In de notitie Strategieën voor het IJsselmeer zijn verschillende maatregelpakketten opgenomen. In aanvulling op deze pakketten zijn in de discussies over het thema waterveiligheid ook nog andere maatregelen ter sprake gekomen. Onderstaand volgt een overzicht van deze mogelijke maatregelen.

Het loskoppelen van de aanvoer van water vanuit de rivier de IJssel en vanuit de Vecht. De rivier de IJssel blijft afvoeren op het IJsselmeer. De rivier de Vecht voert het water echter af op een nieuw aan te leggen randmeer oostelijk om de Noordoostpolder of via een gemaal bij Ramspol. De balgstuw van de Ramspol wordt op termijn dan een echte keersluis. De weteringen bij Zwolle zijn een apart aandachtspunt.

Bij peilopzet in het IJsselmeer lopen verschillende buitendijkse gebieden onder water. Het waterniveau neemt toe ter plaatse van ondieptes gelegen tegen de kust van bijvoorbeeld Friesland. Het gevolg is dat de bijdrage afneemt die dergelijke gebieden hebben op de uitdoving van golven. Onderzocht dient te worden in hoeverre de dynamiek van het watersysteem gebruikt kan worden om dergelijke gebieden te laten meegroeien met de peilstijging door natuurlijke sedimentatie, eventueel lichtelijk geholpen door een kleine uitvoering van de zogenaamde "zandmotor".

In verschillende strategieën dienen de dijken fors verhoogd te worden. Traditioneel gebeurt dat door dijkverhogingen en dijkversterking uit te voeren in grond. In stedelijke, bebouwde, gebieden zal veelal gekozen worden voor constructieve oplossingen. Verbetering van de waterveiligheid door dijkversterking kan echter het beste aansluiten bij de ambities voor gebiedsontwikkeling die lokaal aanwezig zijn. Nieuwe ontwikkelingen in het verbeteren van de waterveiligheid kunnen daar op aansluiten. Te denken valt daarbij aan innovatieve maatregelen door aanleg van een vooroever of een luwtedam, door aanleg van een doorbraakbestendige of overslagbestendige dijk of door innovatieve constructieve oplossingen in bebouwd gebied.

## Conclusies

In deze memo is voor de vier strategieën gekeken wat de effecten zijn van voorziene maatregelen op het gebied van de waterveiligheid. Daar waar informatie beschikbaar is, is aangegeven wat de verwachte effecten zijn. Aanvullend zijn de kennishiaten benoemd.

De verschillende pakketten van maatregelen zijn van toepassing op een groot gebied. Bij de verdere uitwerking van de strategieën kan het beste van grof naar fijn worden gewerkt. Ook zal er meer informatie beschikbaar moeten komen over de kosten van de verschillende pakketten van maatregelen vallende onder de vier strategieën.

## Aanbevelingen

De beoordeling is nu gedaan door het plaatsen van plusjes en minnetjes. In het vervolg zullen ook de kosten en baten van de verschillende maatregelen een rol moeten spelen bij de waardering en dus bij de afweging van de verschillende maatregelen.

In bovengenoemde hoofdstukken zijn kennishiaten geconstateerd. Voor de vier strategieën is het wenselijk om het effect van het betreffende peilregime op de benodigde kruinhoogte te berekenen. Het is mogelijk om met een relatief eenvoudige Bretview berekening te gebruiken in combinatie met het Hydra-instrumentarium om een benadering te geven van de MHW (=maatgevende waterstand) en het HBN (= minimale vereiste kruinhoogte) van de primaire keringen gelegen rondom het IJsselmeer, Ketelmeer, Zwarte Meer en Zwarte Water.

Wanneer het resultaat uitwijst dat de betreffende strategie haalbaar blijkt te zijn, kan een gedetailleerdere berekening uitgevoerd worden met SOBEK-BEKKEN, WAQUA, SWAN en het Hydra-instrumentarium.

Het faalmechanisme golfoploop en golfoverslag is van belang voor het IJsselmeer (zie Bijlage B). Voor het gebied van de IJssel- en Vechtdelta is het belangrijk om ook te kijken naar de mate van waarschijnlijkheid van het optreden van het bezwijkmechanisme piping.

## Referenties

- Alkyon, 2007,  
Meer-dijken in-zicht; berekeningen overstromingskansen en dijkhoogtetekorten in het merengebied en IJssel-Vecht delta  
Rapport, A1817 en A1818, september 2007, pp 22.
- Deltacommissie., 2008,  
Samen werken met water; een land dat leeft, bouwt aan haar toekomst,  
Rapport, Den Haag pp134.
- Duits, M., 2009,  
Invloed van de stijging van het meerpeil door klimaatverandering op de decimeringshoogte (concept)  
Memo, HKV Lijn in Water, 11 september 2009, 5 pp.

- Ecorys, 2008  
Quick scan van kosten van waterbeheersvarianten voor het IJsselmeergebied  
Rotterdam, rapport, 15 januari 2008, pp 24.
- Flevoland, 2009  
Verordening van de fysieke leefomgeving
- HKV en Arcadis, 2009  
Ruimte voor de Overijsselse Vecht: ontwikkeling hydraulisch model en blokkendoos ten  
behoefte van verkenning rivierverruiming  
Rapport, PR1542, juni 2009, pp > 111.
- KWR, 2009  
Drinkwaterfunctie Markermeer en verzilting IJsselmeergebied  
Delft Cluster Rapport, BTO 2009.041 (s), pp. 53.
- Meijer, K. et al, 2009,  
Effecten van peilveranderingen in het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer: Quick scan  
seizoensgebonden peil.  
Deltares, Rapport 1200097-004, 10 april 2009, pp. 47.
- Meijer, K., et al., 2010,  
Concept quick scan peilbesluit IJsselmeergebied 2013,  
Deltares, rapport 1201250, in afronding.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000  
Waterhuishouding in het Natte Hart, WIN-strategie als leidraad voor toekomstig  
waterkwantiteitsbeheer van het Natte Hart  
Achtergrondrapport, ISBN 90.369.1259.8, november 2000
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2009a  
Nationaal Waterpan: 2009-2015  
Den Haag, Rapport, 22 december 2009, pp 280
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2009b,  
Beleidsnota IJsselmeergebied: 2009-2015,  
Den Haag, Rapport, 22 december 2009, pp. 44.
- RWS RIZA, 2007a,  
Achtergrondrapport HR2006 voor de Vecht- en IJsseldelta; hydraulische  
randvoorwaarden voor de Vechtdelta en thermometerrandvoorwaarden 2006 voor de  
IJsseldelta  
Rapport RWS-RIZA 2007.024, Lelystad, pp 76.
- RWS RIZA, 2007b,  
Achtergrondrapport HR2006 voor de Meren; hydraulische randvoorwaarden 2006  
Rapport RWS-RIZA 2007.025, Lelystad, pp 78.
- RWS-Waterdienst / Witteveen en Bos, 2008,  
Decimeringshoogte TMR  
Rapport, definitief, RW1708-1/zeir/008, Deventer, pp. 92.
- RWS-Waterdienst, 2009  
Toekomstvastheid van de hoogwatergeul in de IJsseldelta  
Lelystad, Rapportnummer 2009.005, 8 april 2009, pp. 66.
- Silva W. en van Velzen E., 2008  
De dijk van de toekomst? Quick Scan Doorbraakvrije dijken  
Rapport RWS-WD 2008.052, oktober 2008, pp. 83.
- Ter Maat, J. en Van Meurs, G., 2010,  
Concept rapport Strategie "meestijgen IJsselmeer bij zeespiegelstijging" werkpakket  
Veiligheid IJsselmeergebied,  
Deltares, rapport 1200163, in afronding.

- Verheij, H., 2006,  
IJsselmeer zoekt verdieping: effecten van eilanden, ondiepten en vooroevers op de  
golfaanval en benodigde kruinhoogten van dijken,  
WL | Delft Hydraulics, rapport Q4087, december 2006.
- Verhoeven, G., 2009,  
Quick scan benodigde pompcapaciteit IJsselmeer bij klimaatscenario's, Deltares,  
memo, 20 februari 2009, pp. 15.

## Beschikbare Modellen

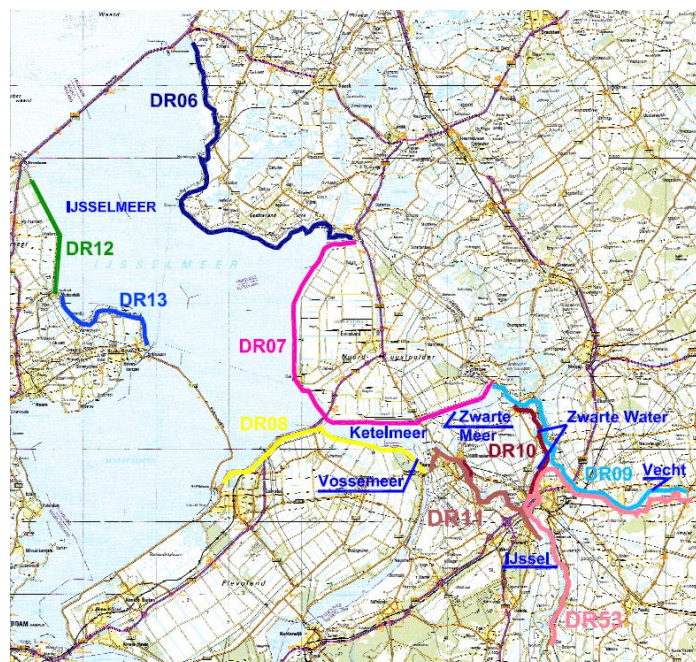
- Rijkswaterstaat veiligheidsmodel voor het IJsselmeergebied voor beleidsstudies Hydra-VIJ;
- SOBEK-Bekken model om langjarige gemiddelde meerpeilen in het IJsselmeer te bepalen;
- WAQUA model IJsselmeer en IJssel- en Vechtdelta;
- Methodiek volgens Rationeel Risico Dijken (RRD).

## Bijlage A: Gebiedsinformatie

Het studiegebied is door ons ingedeeld in een drietal regio's. De indeling is gebaseerd op de fysische omstandigheden van het watersysteem. Regio 1 wordt gedomineerd door golfoploop, Regio 2 door het waterpeil en Regio 3 door de afvoer van water. Voor iedere regio is de dijk lengte gegeven (Tabel 1). In het stroomgebied van de IJssel- en Vechtdelta zijn de dijkringen DR11 en DR53 omgeven door zowel de IJssel als de Vecht.

Tabel 1: Indeling in drie regio's.

Regio	Dijkkring	rivier	dijklengte	
1 (golfoploop)	DR6		61.716	Kornwerderzand tot Lemmer
	DR7		57.658	Noordoostpolder
	DR8		34.832	Roggebotsluis tot Houtribsluis
2 (waterpeil)	DR12		16 877	Wieringermeerpolder
	DR13		20 966	Medemblik tot Enkhuizen
3 (afvoer)	DR9		19 543	
	DR10	IJssel	19 425	
		Vecht	17 156	
	DR11		28 512	
	DR53	IJssel	27 226	
		Vecht	33 817	

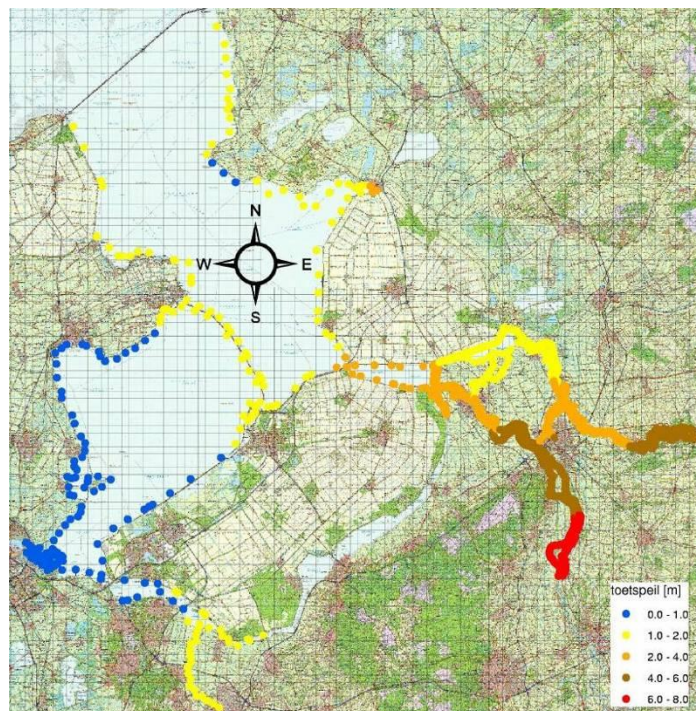


Figuur 6 Het gebied bestaande uit IJsselmeer, Ketelmeer, Zwarte Meer en de rivieren IJssel, Vecht en Zwarte Water, omgeven door de verschillende dijkringen.

## Bijlage B: Huidige situatie

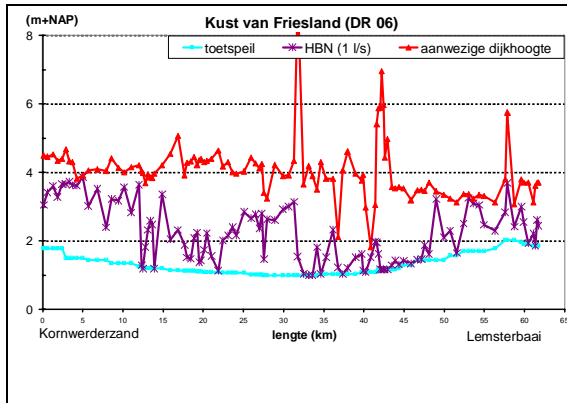
### Faalmechanisme golfoverloop

In Figuur 7 wordt een overzicht gegeven van de MHW's bij gegeven normfrequentie (=toetspeil) bepaald in de HR2006. Het toetspeil voor het IJsselmeergebied varieert; stroomopwaarts in het gebied van de IJssel- en Vechtdelta hoger en stroomafwaarts lager. Een uitzondering is de Vechtdelta, de Ramspolkering beschermt het Zwarte meer en het Zwarte Water tegen extreem hoge opzetten vanuit het IJsselmeer, waardoor hier de toetspeilen lager liggen. Het hoogste toetspeil is op de rivier de IJssel en houdt verband met het verhang van de rivier.



Figuur 7: Overzicht toetspeil (m+NAP) IJsselmeergebied (Alkyon, 2007).

In Figuur 8 wordt is het HBN (= minimaal vereiste kruinhoogte) volgens de HR2006 uitgezet tegen de aanwezige dijkhoogte in 2007 voor de dijken tussen Kornwerderzand en Lemsterbaai. Sommige dijken hebben maar net aan de vereiste hoogte of bezitten overhoogte. Dat zijn de locaties waar de waarde voor de HBN (de paarse lijn) de (rode) lijn met de aanwezige dijkhoogte raakt. In Figuur 9 wordt een overzicht gegeven van de dijken waar de benodigde dijkhoogte kleiner is dan die aanwezige dijkhoogte (dijkhoogte tekort).

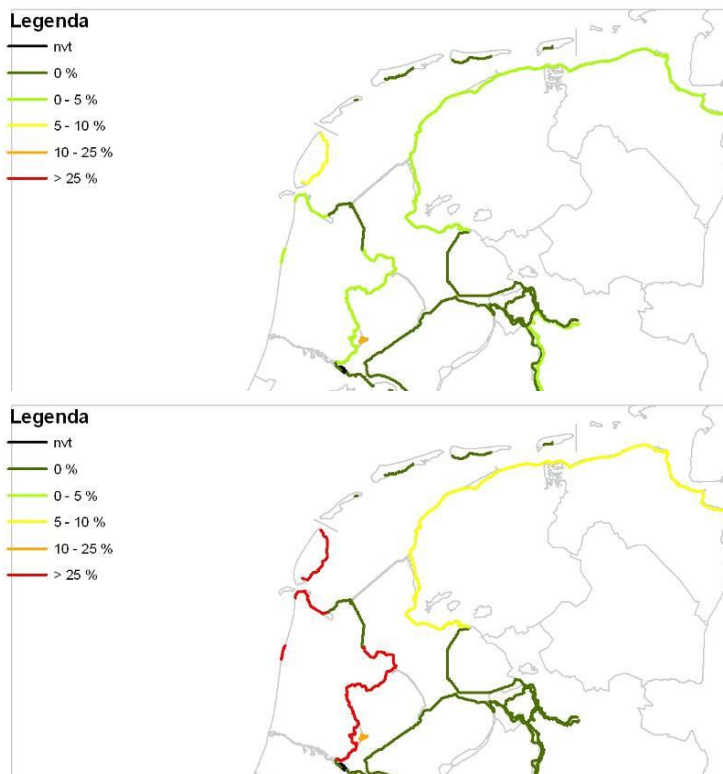


Figuur 8 Toetspeil, het hydraulische belastingsniveau (HBN) en de aanwezige dijkhoogte voor de kust van Friesland als functie van de afstand tot Kornwerderzand (ter Maat en van Meurs, 2010).

Figuur 9 : Locaties met dijkhoogte tekort voor de situatie in 2007. Voor het bepalen van het HBN is gerekend met een overslagdebiet van 1 l/s/m (Alkyon, 2007)

### Faalmechanismen stabiliteit

De huidige veiligheidsbenadering, uit de jaren 90, gaat ervan uit dat 90% van de waarschijnlijkheid van bezwijken van een dijk wordt bepaald door de mechanismen golfoverloop en golfoverslag, kort gezegd door een tekort aan hoogte van een dijk. Het project Veiligheid Nederland in kaart fase I (VНК I) 2005 heeft laten zien dat piping belangrijker is dan iedereen dacht. Of wel de mate van waarschijnlijk van optreden van dit bezwijkmechanismen is groter dan 10%.



Figuur 10: Percentage van de dijken die op grond van stabiliteit binnentalud (onder) en piping (boven) onvoldoende scoorde in de toetsronde van 2006.

In Figuur 10 wordt een overzicht gegeven van het percentage dijken, dat op grond van stabiliteit binnentalud (onder) en piping (boven) onvoldoende scoorde in de toetsronde van 2006. Uit de voorlopige resultaten valt op te maken dat het bezwijkmechanisme piping relatief weinig voorkomt bij de primaire keringen van het IJsselmeer. Wel wordt verwacht dat stabiliteit van het binnentalud een significant probleem vormt. Voor de Friese kust komt het naar verwachting op 5 à 10 procent van de dijken voor. Voor de kust van West-Friesland is dat zelfs hoger. Hier vormt stabiliteit van de binnenberm in meer dan 25 procent van de gevallen een probleem. In dit gebied vinden momenteel dan ook dijkverbeteringen plaats. Het rivierengebied van de IJssel en de Vecht is echter gevoeliger voor piping.

Voor het onderzoek naar de effecten van eventueel peilopzet in het IJsselmeer, is het daarom verstandig allereerst te focussen op de hoogte van de dijken in het gebied. Voor het gebied van de IJssel- en Vechtdelta is het belangrijk om ook te kijken naar de mate van waarschijnlijkheid van het optreden van het bezwijkmechanisme piping.

VNK heeft ook voor kunstwerken de verschillende faalmechanismen in kaart gebracht. Op de site [www.helpdeskwater.nl/projectvnk/publicaties/illustratiemiddelen](http://www.helpdeskwater.nl/projectvnk/publicaties/illustratiemiddelen) zijn verschillende Illustraties te vinden. Voor het IJsselmeer, Ketelmeer, Zwarte Meer, Zwarte Water, IJssel en Vecht dienen de kunstwerken in kaart te worden gebracht. Voor ieder kunstwerk dient te worden vastgesteld op welke termijn onderhoud en vervanging plaats gaat vinden. Op dergelijke momenten is het mogelijk om het kunstwerk aan te passen aan verandering van het meerpeil en aan maatgevende hoogwater.



## Bijlage C: Aanscherpen van de normfrequentie

Aanbeveling 1 van de Deltacommissie (2008) is om voor de periode tot 2050 het veiligheidsniveau van alle dijkringen met een factor 10 te verbeteren. Deze verbetering kan worden gerealiseerd door de dijken te verhogen. De vraag is dan wat de benodigde dijkverhoging dient te zijn.

Het beantwoorden van bovenstaande vraag kan opgepakt worden door het begrip decimeringshoogte te hanteren. Met het begrip decimeringshoogte wordt het verschil in waterstand bedoeld tussen een waterstand met bijvoorbeeld een overschrijdingskans van 1 keer per 100 jaar en een waterstand met een overschrijdingskans van 1 keer per 1.000 jaar. Dit verschil in waterstand is dan tevens de benodigde dijkverhoging.

De decimeringshoogte varieert door de ligging van het profiel, variaties in het dwarsprofiel van de dijk en de oorzaak van de hoge waterstand; wordt de hoge waterstand veroorzaakt door afvoer van water, door stormopzet of door een combinatie van beide. De resultaten in deze paragraaf zijn ontleend aan (RWS RIZA, 2007b), (Witteveen en Bos, 2008) en (Matthijs Duits 2009).

Voor het gehele IJsselmeer is de decimeringshoogte bepaald (Witteveen en Bos, 2008). Voor drie locaties is dit in detail uitgewerkt en is tevens verhoging van het meerpeil meegenomen met 0,72 m (Duits, 2009). Het gaat om een locatie langs de Friese kust nabij Kornwerderzand (F071 Koolhuizen), een locatie langs de kust van West-Friesland nabij de Enkhuizen (07B Enkhuizen Oosterdijk Zuid) en een locatie langs de kust van Overijssel nabij de monding van het Vossemeer (WGS12 Vossewaard).

Tabel 2: informatie over de drie locaties.

Locatie	Dijkkring	Normfrequentie
F071 Koolhuizen	6	1 / 4.000
07B Enkhuizen Oosterdijk Zuid	13	1 / 10.000
WGS12 Vossewaard	11	1 / 2.000

Tabel 3: Decimeringshoogte bij overloop gebaseerd op het waterstand.

Locatie	Decimeringshoogte		
	Voor huidige situatie (m)	Bij peilopzet van 0,72 m (m)	Vershil (%)
F071 Koolhuizen	0,284	0,251	-13
07B Enkhuizen Oosterdijk Zuid	0,221	0,218	-1
WGS12 Vossewaard	0,624	0,626	0

Het water van een meer of rivier kan over een dijk stromen door overloop, de waterstand is dan hoger dan de kruinhoogte, of het water kan door golfoploop over de dijk heenslaan, golfoverslag. Daarom wordt onderscheid gemaakt tussen overloop, gebaseerd op de waterstand, en golfoverslag, gebaseerd op waterstand en golfoploop. Bij overloop wordt alleen gekeken naar de waterstand. Bij golfoverslag wordt bovenop de waterstand ook gekeken naar het effect van golfoploop. Voor overloop staan de resultaten vermeld in Tabel 3. Bij golfoverslag is uitgegaan van het overslagdebiet van 1 l/s/m, de ontwerprandvoorwaarde

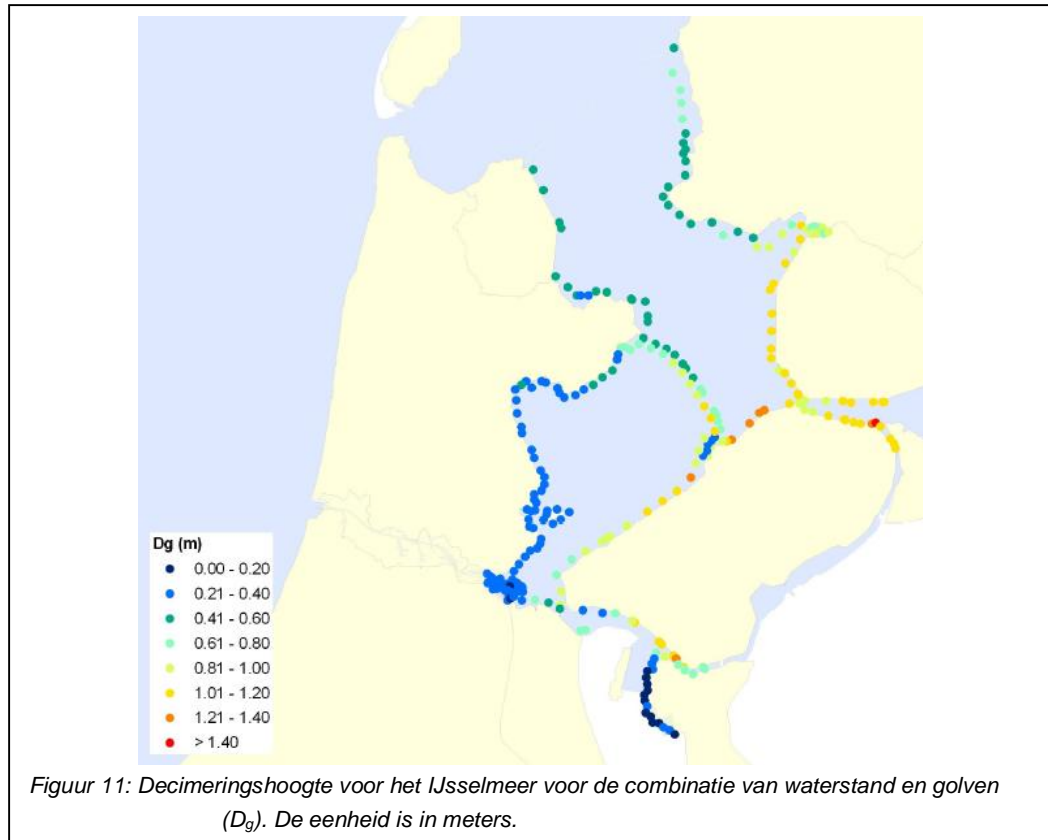
gehanteerd in de toetsronde van 2006 (Tabel 4). In beide tabellen is ook gekeken naar de invloed van een peilverhoging op de decimeringshoogte.

Tabel 4: Decimeringshoogte bij waterstand én golfoverslag met 1 l/s/m.

Locatie	Decimeringshoogte		
	Voor huidige situatie (m)	Bij peilopzet van 0,72 m (m)	Vershil (%)
F071 Koolhuizen	0,506	0,476	-6
07B Enkhuizen Oosterdijk Zuid	0,438	0,446	2
WGS12 Vossewaard	1,181	1,230	4

Kijkende naar de resultaten van dan valt op dat de decimeringshoogte behorende bij waterstand en golven (Tabel 4) zomaar een factor twee hoger kan zijn dan de decimeringshoogte die hoort bij alleen overloop (Tabel 3). De invloed van een stijging van het meerpeil op de decimeringshoogte is minder dan de keuze voor alleen de 'waterstand' of 'waterstand én golfoploop'. De laatste benadering geeft uiteraard een betere indruk in het kader van waterveiligheid.

Als een groter overslagdebiet getolereerd wordt, valt de decimeringshoogte lager uit. De procentuele verandering in decimeringshoogte tussen de huidige situatie en de situatie met peilopzet verandert echter weinig.



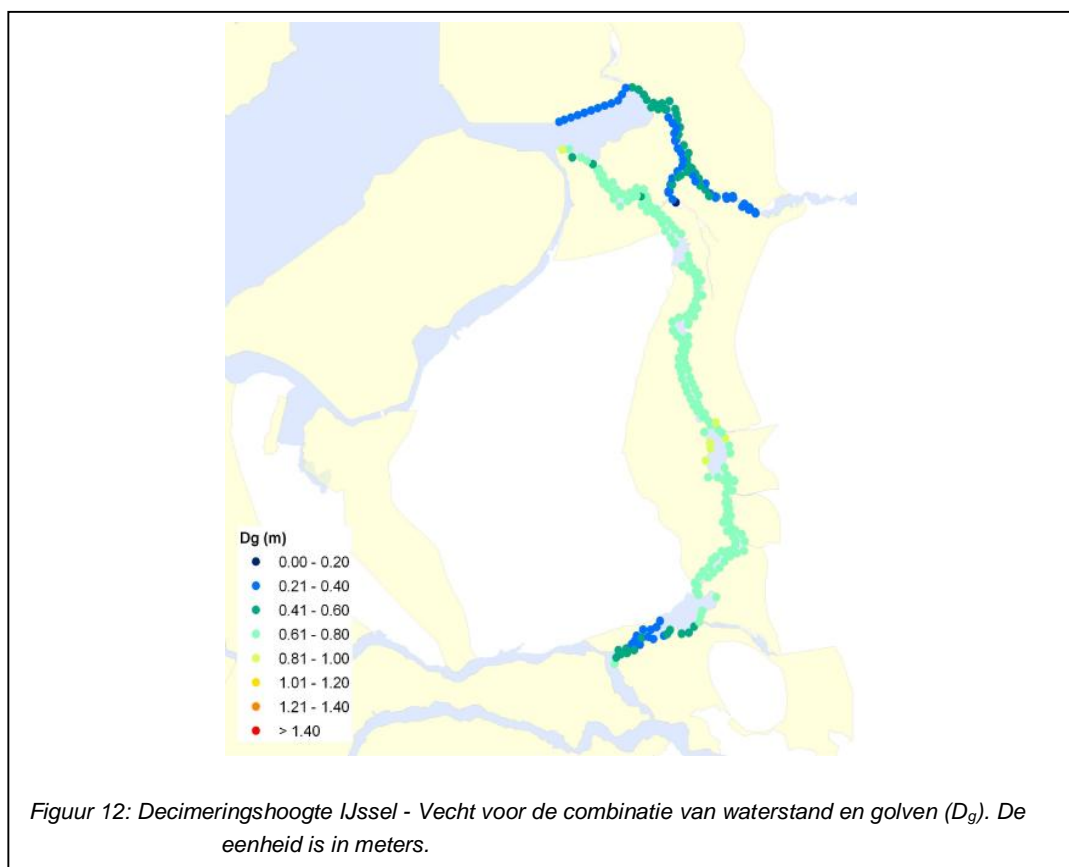
Geconcludeerd kan worden dat de decimeringshoogte sterk afhankelijk is van opstuwing, opwaaiing door de wind en ook wel scheefstand genoemd, en golfoploop. In Figuur 11 is een ruimtelijke verdeling gegeven van de decimeringshoogte voor de combinatie waterstand en

golfoverslag (Witteveen en Bos, 2008). Ook in (RWS RIZA, 2007b) wordt ingegaan op de decimeringshoogte van de meren.

Aan de oostkust van het IJsselmeer (Regio 1) is de variatie van de decimeringshoogte het grootst; enkele decimeters (Friese kust) tot anderhalve meter op enkele plaatsen langs de kust van de Flevopolder. Aan de westkust van het IJsselmeer (Regio 2) blijft de variatie beperkt; één decimeter (Wieringermeerpolder) tot enkele decimeters (kust van West-Friesland).

Ook voor het gebied van de IJssel en Vechtdelta (Regio 3) is de decimeringshoogte vastgesteld (Witteveen en Bos, 2008). Voor de rivier de Vecht is de gemiddelde decimeringshoogte 0,7 meter, voor het stroomgebied van de Vecht 0,4 meter (Figuur 12) en voor het Zwarte Meer 20 cm. Voor de IJssel is sprake van een redelijk constante waarde. Alleen bij de monding zijn afwijkende waarden gevonden. Voor het stroomgebied van de Vecht is de spreiding wat groter.

De decimeringshoogte wordt dus beïnvloed door windrichting en windkracht. Peilopzet heeft slechts een gering effect op de decimeringshoogte. Uit (Duits, 2009) valt af te leiden dat deze invloed 10 tot 16 % bedraagt. De hoofdconclusie is dat effecten van peilopzet en aanscherping veiligheidsnorm apart bekeken mogen worden. Bij een gecombineerde uitvoering kunnen de gevolgen globaal bij elkaar worden opgeteld.



## Bijlage D: Gevolg van peilopzet

Op verzoek van RWS-Waterdienst heeft Deltares eind 2009 gewerkt aan het project Klimaatbestendigheid Nederland Waterland. Één van de onderdelen van het project betrof het werkpakket Veiligheid IJsselmeer. De volgende onderdelen zijn in dat kader opgepakt:

- Beschouwing over verschillende bezwijkmechanismen bij waterkeringen;
- Beschouwing over mogelijke maatregelen bij het tegen gaan van bezwijkmechanismen;

In deze bijlage worden de volgende twee onderwerpen uit dit onderzoek besproken:

- Vaststellen van een drietal peilverhoging varianten.
- Vaststellen van het dijkhoogte tekort voor deze drie varianten

### Varianten peilverhoging

Drie varianten zijn gekozen om vast te stellen of sprake is van een dijkhoogte tekort en hoe groot dat tekort dan is. Bij alle varianten wordt een stijging met 1,3 m aangehouden van het peil in de Waddenzee in 2100 conform de verwachting van de Deltacommissie. De varianten zijn een peilopzet met:

1. 1,5 m; conform aanbeveling 11 van de Deltacommissie. Het winterpeil komt hiermee op 1,1 m+NAP.
  - a. 0,90 is globaal het effect van zeespiegelstijging van 1,30 m
  - b. 0,60 is voor extra waterberging
2. 1,1 m; wat het natuurlijke evenwicht is in de winterperiode bij een verhoging van het waterpeil in de Waddenzee met 1,3 m. Het winterpeil in het IJsselmeer komt hiermee op 0,7 m+NAP. Extra waterberging voor de zoetwatervoorziening kan dan gehaald worden uit peilopzet in het vroege voorjaar of uitzakken in de nazomer. Deze variant wordt ook wel flexibel peil genoemd.
3. 0,2 m waarbij pompen op de Afsluitdijk overtollig water uitslaan en de peilopzet bedoeld is als extra waterschijf voor de zoetwatervoorziening. Het winterpeil komt hiermee op 0,2 m-NAP.

De tweede variant is gebaseerd op de resultaten van een berekening met het SOBEK-Bekken model. Rekening wordt gehouden met aanvoer van water en afvoer of verdamping van water. Aanvoer vindt plaats via de rivieren de IJssel en de Vecht, en door het uitslaan van water door de waterschappen. Afvoer van water gebeurt door water in te laten door de waterschappen, door verdamping en door afvoer naar Waddenzee en Markermeer. Als invoergegevens zijn de omstandigheden gehanteerd zoals die gedurende de tijdsperiode 1948 tot en met 1998 zijn gemeten. Deze invoergegevens zijn wel vertaald naar getalswaarden die horen bij een  $W^+$  scenario voor 2100. Als peilstijging in de Waddenzee is 1,3 m aangehouden. (Deltacommissie, 2008) geeft aan dat de relatieve peilstijging in 2100 naar verwachting zal uitkomen tussen 0,65 m en 1,30 m. De peilstijging in de Waddenzee is dan in overeenstemming met de bovengrens zoals genoemd door (Deltacommissie, 2008). Tevens is rekening gehouden met een verdubbeling van de spuicapaciteit zoals in de toekomst voorzien is. Het lopende beleid als het gaat over uitvoering van werkzaamheden gaat overigens uit van een peilstijging in het jaar 2100 met 0,60 meter. De klimaatscenario's van het KNMI hanteren voor het  $W^+$  scenario in het jaar 2100 een absolute stijging van de zeespiegel van 0,40 tot 0,85 meter.

Vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd. Het berekende peil in het IJsselmeer volgt de loop van het seizoen; hoog in de winter en laag in de zomer. Het langjarig berekende meerpeil in de winter blijkt gemiddeld ongeveer 0,7 m+NAP te zijn. Dit komt overeen met een peilopzet van 1,1 m in het IJsselmeer. Een lagere waarde voor de zeespiegelstijging in de Waddenzee betekent een lagere waterstand in het IJsselmeer. Globaal werkt een stijging van de zeespiegel voor 70 à 80 procent door in het waterpeil van het IJsselmeer als gespuid wordt onder vrij verval. Er zijn ook lokale processen. In het Ketelmeer en de IJsseldelta vermindert het hogere meerpeil de opzet, een meerpeil stijging werkt dus maar 70% door op de toetspeilen.

### **Vaststellen dijkhoogte tekort voor de drie varianten**

Bij het vaststellen van het dijkhoogte tekort is de belasting op de dijk en de aanwezige kruinhoogte van belang. Voor de aanwezige kruinhoogte is als vertrekpunt gekozen dat alle dijken op dit moment (2007) de vereiste hoogte hebben, dit om onderscheid te maken tussen de benodigde dijkverhoging die op dit moment eigenlijk al nodig is, en toekomstige dijkverhoging die nodig is om peilopzet te accommoderen. Als gevolg hiervan is dus een overhoogte wel meegenomen maar een dijkhoogte tekort is gecompenseerd. (De aanwezige kruinhoogte in 2007 wordt nader toegelicht in bijlage B). Bij het bepalen van de belasting op de dijk zijn drie bijdragen van belang:

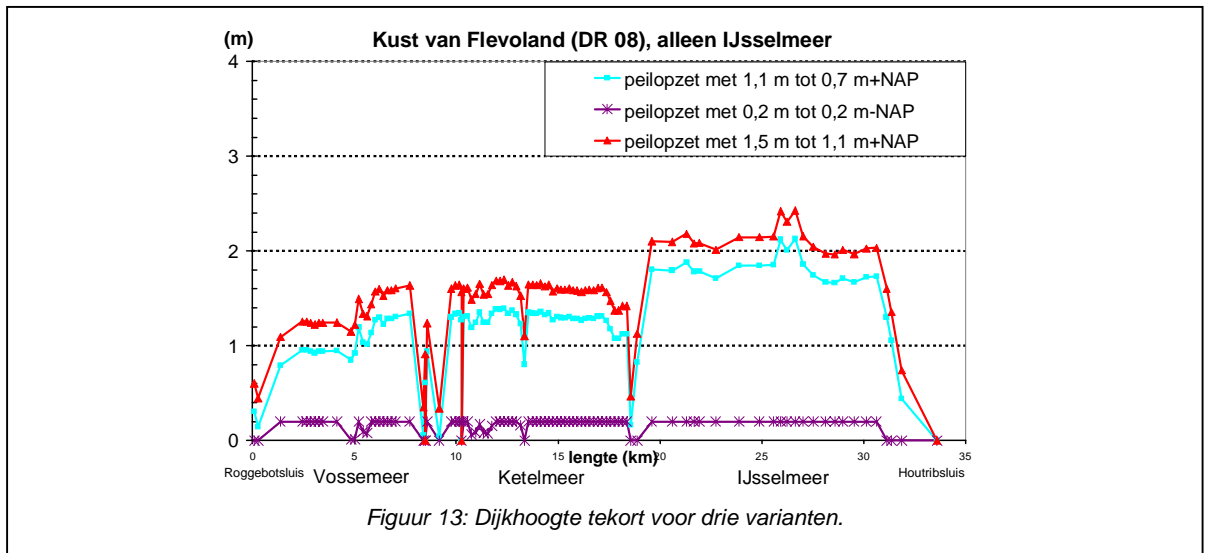
1. peilopzet, als resultante van aanvoer en afvoer van water
2. scheefstand onder invloed van de wind
3. golfoploop onder invloed van de wind

Bij het toetsen of de dijken een toekomstige peilopzet kunnen weerstaan, is enkel naar de hoogte gekeken. De sterkte is (nog) niet meegenomen.

Voor de drie scenario's is op een eenvoudige wijze de benodigde dijkhoogte berekend, Dat is gedaan door de uitkomsten van Hydra-VIJ voor de huidige situatie te extrapoleren naar de situatie met een peilopzet die hoort bij een specifieke variant. Twee inschattingen zijn daarbij gehanteerd voor de eerste twee varianten (peilopzet met 1,5 m en peilopzet met 1,1 m). Allereerst is de peilopzet voor 2/3 verwerkt in de ophoging van het toetspeil. Ten tweede is de bestaande golfoploop met 30% verhoogd. Voor de derde variant, peilopzet met 0,2 m, is het nieuwe toetspeil bepaald door bij het bestaande toetspeil de peilopzet op te tellen.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> De wijze waarop de benadering is uitgevoerd geeft aan dat de resultaten indicatief van karakter zijn en dus ook als zodanig moeten worden behandeld.

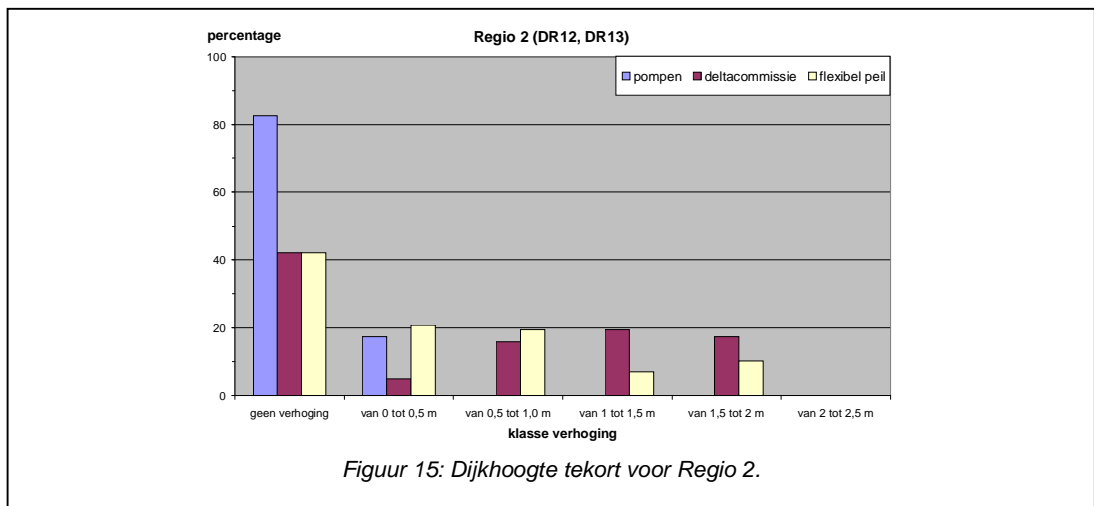
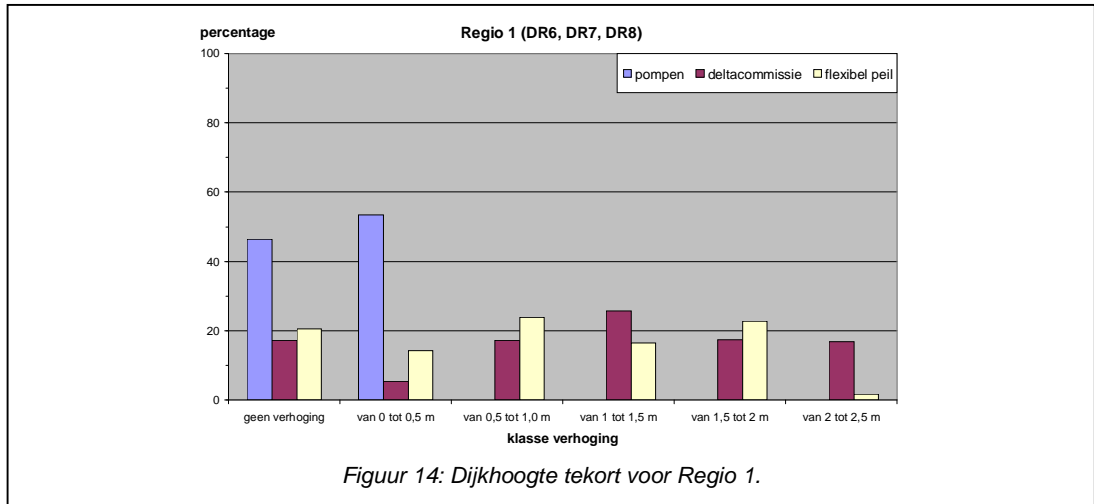


De uitkomsten van de berekeningen zijn dijkhoogte tekorten als functie van de afstand langs de dijk. De resultaten laten zien dat veel plaatsen de waterkering verhoogd moet worden. De resultaten voor het traject Roggebotsluis - Houtribsluis worden als voorbeeld gegeven (Figuur 13).

Het berekende dijkhoogte tekort is ondergebracht in verschillende klassen. Beginnende met de klasse dat geen dijkverhoging nodig is, is iedere klasse steeds opgehoogd met stappen van een halve meter. Het resultaat voor iedere regio is vervolgens gepresenteerd als een histogram.

De grootste aanpassingen van de dijken moet plaatsvinden als peilopzet met 1,5 m plaats gaat vinden (Variant Deltacommissie). Aan de oostkust van het IJsselmeer (Regio 1) moeten de dijken tot 2,5 m worden verhoogd (Figuur 14). Aan de westkust van het IJsselmeer (Regio 2) is dat tot 2,0 m (Figuur 15) en in de IJssel-Vecht delta (Regio 3) is dat tot 1,5 m. Bij een peilopzet met 1,1 m is minder dijkverhoging nodig.

Voor de variant met een peilopzet van 0,2 m (pompen) is uiteraard de minste dijkverhoging nodig. Voor de oostkant van het IJsselmeer (Regio 1) moet echter toch nog ruim 50 % van de dijken tot een halve meter worden verhoogd. Voor de westkant van het IJsselmeer (Regio 1) is het percentage minder dan twintig procent.



## Bijlage E: Effect peilverandering op scheepvaart

### Inleiding

Ten behoeve van de Voorverkenning Lange Termijn Peilbeheer IJsselmeergebied zijn de gevolgen voor de veiligheidsrisico's voor de scheepvaart als gevolg van peilverandering in kaart gebracht. Peilverandering kan betrekking hebben op het verlagen of verhogen van het meerpeil in het IJsselmeergebied. Als gevolg van een peilverandering kan ook verandering optreden van scheefstand en golfoploop. Voor de scheepvaart (beroeps, charter en pleziervaart) kan dit leiden tot beperking van de waterdiepte of van de doorvaarhoogte. Hogere golven kunnen van invloed zijn op de beladingsgraad van bijvoorbeeld schepen met open scheepsruimte.

### Beschrijving infrastructuur scheepvaart

Voor veilig transport en vervoer over het water dient aan een aantal eisen te worden voldaan. Enerzijds dient er voldoende waterdiepte aanwezig te zijn in de vaargeul en in de scheepvaartsluizen. Anderzijds dient de doorvaarhoogte bij bruggen toereikend te zijn. Uiteraard zijn er voor een veilig gebruik ten behoeve van de scheepvaart ook andere voorzieningen noodzakelijk als wachtsteigers, vaarwegmarkering, etc.

Voor de scheepvaartsluizen in de Afsluitdijk en Houtribdijk is een maximale vaardiepte van 3,50 m toegestaan. Deze vaardiepte is ook van toepassing op de Oranjesluizen bij Amsterdam. Voor de sluizen in de Veluwerandmeren (inclusief het Aquaduct van Harderwijk) is de vaardiepte maximaal 2,50 m.

In het IJsselmeergebied zijn een aantal bruggen aanwezig Sommige zijn voorzien van een beweegbaar deel. De doorvaarhoogte van de Hollandse Brug, de Stichtse Brug en de Ketelbrug ligt op + 12,70 m NAP. Voor de brug bij Harderwijk geldt een doorvaarhoogte van 7,20 m. Deze brug is specifiek voor de beroepsvaart bestemd. Recreatievaart kan gebruik maken van het aanwezige aquaduct.



Figuur 16: Een staande mastroute van Amsterdam naar Delfzijl.



Voor het wegtracé van het N50, de weg Kampen – Emmeloord, is in het najaar van 2009 besloten tot de aanleg van een nieuwe Ramspolbrug met een vrije doorvaarhoogte van bijna 13 m. Verder zal deze brug worden voorzien van een beweegbaar deel. Vele sluisen zijn beschikbaar en vele bruggen moeten worden gepasseerd door de scheepvaart om van een rijkswater naar een regionaal water te varen. Een voorbeeld is de staande mastroute, bijvoorbeeld uit Figuur 16.

### Veiligheid en overige effecten voor de scheepvaart

Peilverandering heeft zowel positieve als negatieve effecten voor de veiligheid van de scheepvaart. Meer veiligheid ontstaat door grotere diepgang op de vaarroutes indien de waterpeilen worden verhoogd. De toegestane diepgang is afhankelijk van de vaarwegklasse. Meer diepgang in de vaargeul betekent een grotere bewegingsvrijheid met minder kans op aanvaringen, indien de doorvaarhoogtes onder bruggen geen beperking opleggen.

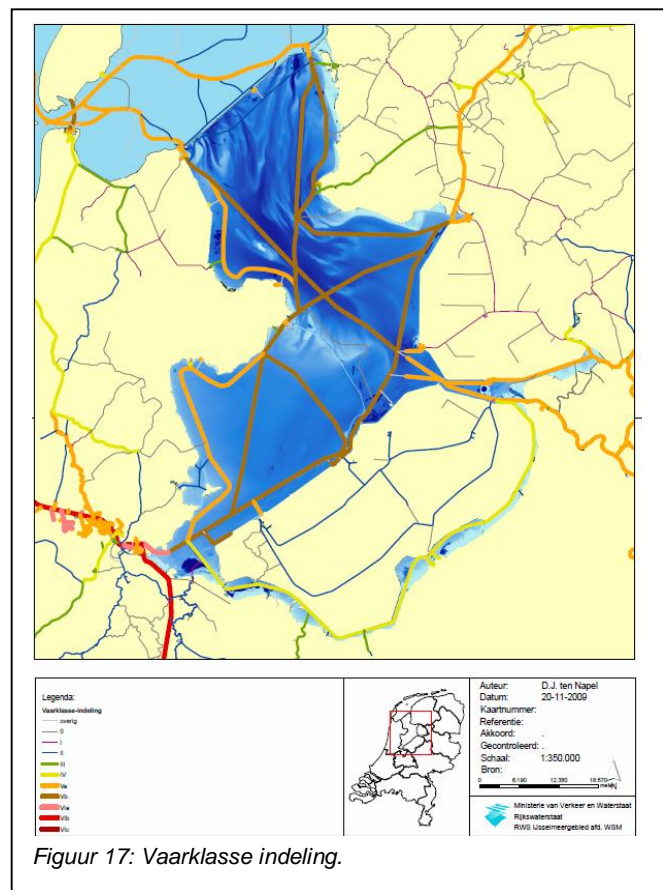
Vermindering van veiligheid (incidenten / calamiteiten) treedt op als:

- afname van de diepgang leidt tot grotere concentratie van schepen in een vaargeul
- toename van peilverschillen tussen de meren leidt tot langere wachttijden bij sluisen, waardoor meer schepen zich gelijktijdig voor een sluis ophouden
- door grotere fluctuaties in meerpeilen variëren de doorvaarhoogtes bij bruggen en vaardiepte bij sluisen evenredig, waardoor schepen en objecten ernstiger kunnen worden beschadigd.

### Bij 0-30 cm stijging zomerpeil

In het kader van het Peilbesluit wordt een maximale stijging van het zomerpeil van 30 cm voorzien in het IJsselmeergebied. De scheepvaart uit de omliggende regio's kan als gevolg hiervan worden geconfronteerd met langere wachttijden. Naar verwachting zullen wachttijden in beperkte mate toenemen, waardoor voor de beroepsvaart slechts beperkte economische schade zal ontstaan. Voor sommige regio's zal wellicht vanwege de waterhuishouding een schutsluis dienen te worden aangelegd.

Door toename van de vaardiepte op de Veluwerandmeren neemt het bevaarbaar oppervlak toe. Voor de recreatievaart is dit gunstig, maar voor de ecologie is dit mogelijk negatief.



### **Bij 0-150 cm stijging winter- en zomerpeil**

Na ontkoppeling van het IJsselmeer van het Markermeer en de Veluwerandmeren zal vanaf 2035 een groter peilverschil gaan ontstaan tussen deze meren onderling. Verder zullen de peilverschillen tussen IJsselmeer en de omliggende regio's (maar ook Waddenzee en Noordzeekanaal) en verder toenemen en meer stroomopwaarts merkbaar zijn voor wateren, die in open verbinding staan met het IJsselmeer. Als gevolg hiervan zullen de wachttijden bij de sluisen aanzienlijk gaan toenemen in het IJsselmeergebied, maar ook daarbuiten (stroomopwaarts). Voor de beroepsvaart zal hierdoor economische schade gaan ontstaan. Als gevolg van langere wacht- en reistijden zal ook meer behoefte ontstaan aan wachtsteigers bij sluisen en overnachtingsmogelijkheden.

Indien peilstijging wordt gecombineerd met het uitzakken van het waterpeil onder het huidige streefpeil in de winter leidt dit tot grotere risico's voor de beroepsvaart en objecten. Het passeren van scheepvaartsluisen wordt beperkt in de mogelijkheden of schepen kunnen minder beladen worden vanwege de beperkte waterdiepte.

Op de Veluwerandmeren leidt het uitzakken onder het streefpeil in de zomer voor de pleziervaart al tot beperking van de recreatieve mogelijkheden. Het zeilen wordt risicovol dan wel onmogelijk. Op de Veluwerandmeren leidt het uitzakken tot een grotere concentratie van pleziervaart in de vaargeulen.

## Bijlage F: Beschikbare informatie

Over het studiegebied is de volgende informatie beschikbaar:

- met de ligging van dijkeringen;
- kaart van Waterschap Groot-Salland met ligging van waterkeringen en kunstwerken;
- kaart met toetspeilen (m+NAP) van het IJsselmeergebied;
- kaart met de ligging van buitendijkse gebieden van het Waterschap Zuiderzeeland;
- kaart met decimeringshoogte voor het IJsselmeer voor de combinatie van waterstand en golven;
- kaart met decimeringshoogte voor het stroomgebied van IJssel en Vecht voor de combinatie van waterstand en golven;
- kaart met locaties waar de overstromingskans groter is dan de normfrequentie met een overslagdebiet van 1 l/s/m;
- kaarten met informatie van tekort aan dijktafelhoogte voor een drietal varianten van peilopzet in het IJsselmeer
- histogrammen met een overzicht van benodigde procentuele verhoging van de dijkhoogte voor verschillende verhogingsklassen (gebied is daartoe in drie regio's verdeeld);
- kaarten met overzicht van de dijkeringen met per dijkkring een geschat percentage dat onvoldoende scoorde tijdens de toetsronde van 2006 voor de bezwijkmechanismen piping en stabiliteit binnentalud;
- kaart met de ligging van buitendijkse gebieden;
- kaart met de hoogte van buitendijkse gebieden;
- kaart met bodemopbouw;
- kaart met de waterdiepte onderverdeeld in verschillende diepteklassen;
- kaart met de ligging van verschillende gemalen;
- kaart met de ligging van verschillende sluizen;
- kaart met ligging van waterkeringen, onderverdeeld in categorie A, B en C;
- kaart met de hoogte van de waterkeringen;
- kaart van de IJsseldelta met de ligging van kunstwerken, waterkeringen e.a.;

## **Bijlage G: Namen leden projectgroep**

De projectgroep die het thema Waterveiligheid uit de Voorverkenning van het Deltaprogramma IJsselmeer oppakte bestond uit de onderstaande personen:

Antoon Kuijpers	Wetterskip Fryslân - voorzitter
Bert Bijkerk	Waterschap Groot-Salland
Karien Luursema	Waterschap Zuiderzeeland
Eric Regeling	Rijkswaterstaat IJsselmeergebied
Ton de Vrieze	Rijkswaterstaat IJsselmeergebied
Dirk van Hoorn	Rijkswaterstaat Waterdienst
Robert Slomp	Rijkswaterstaat Waterdienst
Gerard van Meurs	Deltares

Daarnaast heeft Barry Ros (Waterschap Groot-Salland) informatie aangeleverd en meegewerkt aan deze notitie.