



Centraal Planbureau

Stapsgewijze aanpak levert meerwaarde

Veiligheid hierbij niet in geding



Een kosten-
effectiviteitsanalyse
naar de toekomstige
inrichting van de
Afsluitdijk

Wilbert Grevers
Peter Zwaneveld

Een kosteneffectiviteitsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk

Wilbert Grevers en Peter Zwaneveld

**Centraal Planbureau
Van Stolkweg 14
Postbus 80510
2508 GM 's-Gravenhage**

Juni 2011

Korte samenvatting

Deze kosteneffectiviteitsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk beschrijft de voor- en nadelen van een zestal varianten om de Afsluitdijk weer tot het jaar 2100 te laten voldoen aan minimale functie-eisen. Zo schrijft de huidige wettelijke veiligheidsnorm voor dat de dijk waterstanden moet kunnen keren die eens in de tienduizend jaar voorkomen. Vele (welvaarts)effecten worden in kaart gebracht zoals aanlegkosten, onderhoudskosten, energiekosten, CO₂-uitstoot, natuur en landschap. Speciale aandacht gaat uit naar de effecten op de zoetwatervoorraad, de waarde van (extra) veiligheid van omwonenden rond het IJsselmeer en het Markermeer en de opties om zo verstandig en flexibel mogelijk om te gaan met toekomstige onzekere ontwikkelingen rond de zeespiegelstijging. Een belangrijke conclusie is dat bij de besluitvorming niet een keuze uit een van de zes onderzochte varianten zou moeten worden gemaakt, maar dat beter uit de verschillende elementen van deze varianten een zo goed mogelijke combinatie kan worden samengesteld. De voor- en nadelen van deze individuele elementen worden hiertoe overzichtelijk gepresenteerd. Vooral de keuze om nu te investeren in nieuwe capaciteit voor spuien onder vrij verval, dan wel direct (gedeeltelijk) over te stappen op het wegpompen van overtollig IJsselmeerwater, behoeft aandacht en kan wellicht leiden tot belangrijke besparingen.

Steekwoorden: Kosten-batenanalyse, kosteneffectiviteitsanalyse, waterveiligheid, waterbeheer, zoetwatervoorraad, Afsluitdijk, reële optiewaarde, adaptief deltamanagement.

Abstract

This cost-effectiveness analysis describes the pros and cons of six alternatives for preparing the 'Afsluitdijk' to meet minimal functional requirements up to the year 2100. The Afsluitdijk (Dutch for 'closure dike') protects the northern part of the Netherlands from the sea. One of these minimal requirements is the present statutory safety regulation that states that this dike must withstand water levels which occur once every ten thousand years. Many (welfare) effects are analysed, such as construction costs, maintenance costs, cost of energy, CO₂ emissions, effects on nature and landscape. Specific attention has been paid to the effects on drinking water supply and the value of (additional) safety for people living in the neighbourhood of the two major lakes (IJsselmeer en Markermeer) for which the Afsluitdijk provides protection from the dangers of flooding. In addition, flexibility of project alternatives towards future uncertain climate changes is addressed in a real option approach. One of the conclusions is that the policy-decision process should not opt for one of the six investigated alternatives, but should compose an 'optimal' alternative based upon the elements of these six alternatives. Therefore, the pros and cons of these individual elements are presented separately. Especially, optimal water control requires additional attention and could lead to substantial cost savings. The question concerns whether to continue the current draining of water into the sea or to (partly) switch toward pumping of excess water.

Key words: Cost-benefit analysis, cost-effectiveness analysis, water safety, water control, drinking water supply, Afsluitdijk, dikes, real options.

Inhoud

	Ten geleide	7
	Samenvatting	9
	Conclusies per element en component	19
1	Introductie	27
1.1	Aanleiding onderzoek	27
1.2	KEA Afsluitdijk en KBA Norm Afsluitdijk	27
1.3	KEA Afsluitdijk: Waterveiligheid op orde brengen en nog méér doen?	29
1.4	Leeswijzer	30
2	De huidige functies en kwaliteiten van de Afsluitdijk	31
2.1	Veiligheid	31
2.2	Waterbeheer	32
2.3	Mobiliteit	36
2.4	Landschappelijke waarde	36
2.5	Cultuurhistorische waarde	37
2.6	Natuurwaarden	37
3	Opzet van de KEA: stapsgewijze analyse van ‘kernen’ en ‘componenten’	39
3.1	Brede welvaartanalyse van kernen en componenten	39
3.2	Uitgangspunten	42
3.3	Werkhypothese: handhaving huidig IJsselmeerpeil en dus extra pompen	43
4	Beschrijving projectalternatieven	45
4.1	Inleiding	45
4.2	Beschrijving van de kernen	45
4.3	Overzicht van kernen en korte beschouwing	62
4.4	Overzicht van componenten	65
5	Conclusies en overzicht welvaartseffecten ‘kernen’ voor de Afsluitdijk	69
5.1	Overzichtstabel	69
5.2	Technische haalbaarheid	71
5.3	Significant negatieve natuureffecten waardoor mogelijk geen vergunning	71
5.4	Kosten van aanleg, onderhoud en energie (incl. eventuele energieopbrengsten)	71
5.5	Flexibiliteit = kosten bij andere klimaatscenario's	72
5.6	Veiligheid – verschillen in veiligheid	73
5.7	Strategische zoetwatervoorraad	73
5.8	Natuureffecten gemeten met ‘natuurpunten’	73
5.9	‘Landschap en monumenten’ en ‘Archeologie’	73
5.10	Wegverkeer, scheepvaart, externe veiligheid, geluid- en lichthinder en militair gebruik	74
6	Kosten en baten van de ‘kernen’ voor de Afsluitdijk	75
6.1	Technische haalbaarheid	75
6.2	Investeringskosten en kosten van beheer, onderhoud en energie	78
6.3	Flexibiliteit van kernen voor zeespiegelstijging	85
6.4	Baten (over)veiligheid	88
6.5	Strategische zoetwatervoorraad	93

6.6	Natuureffecten	97
6.7	Landschap en monumenten	102
6.8	Archeologie	105
6.9	Wegverkeer, scheepvaart, fiets en openbaar vervoer.....	106
6.10	Externe veiligheid, geluid- en lichthinder en 'militair gebruik'	107
7	Conclusies uit 'aanvullende' KBA's componenten	109
7.1	Componenten: Duurzame energie.....	109
7.2	Componenten: Natuur.....	110
7.3	Componenten: Recreatie en ruimtelijke ontwikkeling	111
7.4	Componenten: Mobiliteit.....	111
8	Gevoeligheidsanalyses en extra varianten	113
8.1	Pompen in plaats van spuisluizen: 'pompen' versus 'spuien'	113
8.2	Effecten bij de andere werkhypothese: verhoging IJsselmeerpeil	120
8.3	Uitstel nieuwbouw spuisluis Kornwerderzand	121
8.4	Alternatieven voor aanvullende maatregelen dijklichaam.....	123
8.5	Fasering aanleg schutsluizen.....	123
8.6	Nieuwbouw kunstwerken voor Basisalternatief	125
8.7	Discontovoet: effect op aanleg- en onderhoudskosten	125
8.8	Effect discontovoet op veiligheidsbaten	128
8.9	Conclusies	129
	Referenties	131
	Bijlage A: Natuur: risicobeoordeling Natuurbeschermingswet en natuurwaarde-indicator.....	135
	Bijlage B: Berekeningen energieverbruik/-opbrengst en additionele CO₂-uitstoot.....	143
	Bijlage C: Kanttekeningen bij de kostenramingen.....	147
	Bijlage D: Discontovoet	149
	Bijlage E: Flexibiliteit.....	151
	Bijlage F: Zoutoverslag	155
	Bijlage G: Overwegingen bij formuleren werkhypothese	157
	Bijlage H: Berekeningen baten (over) veiligheid.....	159

Ten geleide

De Afsluitdijk is zo'n 80 jaar na aanleg toe aan een grondige opknapbeurt. De dijk voldoet – bij lange na – niet aan de huidige wettelijke veiligheidseisen. Daarnaast moet de Afsluitdijk zijn andere 'functies' de komende tijd adequaat blijven vervullen, zoals het waterbeheer van het IJsselmeer. Deze kosteneffectiviteitsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk is een belangrijke bouwsteen voor de 'voorkeursbeslissing' van het kabinet. Het projectteam Toekomst Afsluitdijk, dat deze beslissing voorbereidt, heeft het CPB verzocht om deze kosteneffectiviteitsanalyse te maken.

Deze studie beschrijft de voor- en nadelen van een zestal varianten om de Afsluitdijk tot het jaar 2100 weer te laten voldoen aan minimale functie-eisen. Ook wordt er gekeken of er niet méér gedaan kan worden met de Afsluitdijk. Deze vraag van het kabinet heeft ertoe geleid dat er een veelheid aan ideeën in de analyse zijn meegenomen op het gebied van energie, natuur, recreatie en mobiliteit. Deze analyse gebeurt vanuit een welvaartseconomisch perspectief. Hierbij kijken we onder andere naar aanlegkosten, onderhoudskosten, energiegebruik, CO₂-uitstoot, natuur en landschap. Ook de technische haalbaarheid en effecten op archeologie en het 'militair gebruik' zijn bekeken. Op basis van verkregen inzichten is gezocht naar welvaartverhogende varianten.

Nieuwe methodieken zijn bedacht en uitgewerkt om de waarde van extra veiligheid van de Afsluitdijk voor inwoners rond het IJsselmeer en Markermeer in geld uit te drukken. Ook zijn de effecten op de zoetwatervoorraad in het IJsselmeer geanalyseerd. Last but not least wordt de waarde van flexibiliteit van de verschillende varianten voor alle te voorziene klimaatscenario's in geld uitgedrukt, ofwel de reële optiewaarde van flexibiliteit.

Deze studie was mogelijk dankzij de inzet van velen die ons van de benodigde informatie voorzagen. De begeleiding door Joost van de Beek, Yolande van der Meulen en Zeni Pluut van het projectteam Toekomst Afsluitdijk was hierbij onontbeerlijk. Dankzij hen konden wij gebruik maken van rapporten van Decisio (KBA's van ambitiecomponenten), Grontmij (PlanMER en natuurwaarden), Movares (aanlegkosten pompen en review CPB berekeningen), PBL (review natuurwaarden) en Rijkswaterstaat (kostenramingen). We danken Wim van den Brink, Niels Hoefsloot, Robert Jan Jonker, Gerbrand Naeff, Menno de Pater, Arno Rol, Rick Wortelboer en anderen voor hun bijdragen. Eric Regeling (Rijkswaterstaat) heeft ons zowel bij de start van het project een zeer verhelderend 'hoorcollege' gegeven over het hoe en wat van de Afsluitdijk, als ons op het laatste moment voorzien van cruciale gegevens.

We zijn Carel Eijgenraam zeer erkentelijk voor zijn meedenken en begeleiden en zijn bijzondere vermogen om argumentaties te doorgronden. Het project stond onder leiding van Peter Zwaneveld, met bijdragen van Wilbert Grevers. Bij de berekeningen van de effecten op waterveiligheid is nauw samengewerkt met Joost Beckers en Nienke Kramer (Deltares) die de benodigde hydraulische berekeningen hebben verzorgd.

We hebben dankbaar geprofiteerd van de wetenschappelijke begeleiding en het 'eindoordeel' door de Commissie van Deskundigen, bestaande uit prof.dr. Ekko van Ierland (Wageningen UR), prof.dr. Carl Koopmans (SEO Economisch Onderzoek, VU), prof.dr. Piet Rietveld (VU) en prof.dr. Anne van der Veen (Universiteit Twente). Daarnaast danken we de ambtelijke begeleidingsgroep voor zijn nuttige bijdragen. Dank gaat verder uit naar meelezer en -denker Free Huizinga en alle andere collega's van de sector Economie en fysieke omgeving. Ten slotte gaat onze dank uit naar John Blokdijk en Jannie Droog voor ondersteunende werkzaamheden.

Coen Teulings
Directeur

Samenvatting

Een 'brede' welvaartsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk

De huidige Afsluitdijk voldoet – bij lange na – niet aan de huidige wettelijke veiligheidsnorm. Deze norm schrijft voor dat de dijk waterstanden moet kunnen keren die maximaal eens in de tienduizend jaar voorkomen. Daarnaast moet de Afsluitdijk zijn andere 'functies' de komende tijd adequaat vervullen, zoals het waterbeheer van het IJsselmeer en het bieden van een snelle verbinding voor wegverkeer en scheepvaart. Deze kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk beschrijft de voor- en nadelen van een zestal varianten (kernen genaamd) om tot het jaar 2100 weer te voldoen aan de bovengenoemde eisen. De varianten worden *onderling* vergeleken, gegeven de minimale functie-eisen, waardoor deze analyse een kosteneffectiviteit behelst. Dit gebeurt vanuit een welvaartseconomisch perspectief.

Hierbij kijken we niet alleen naar gebruikelijke effecten als investeringskosten, onderhoudskosten, energiegebruik, CO₂-uitstoot, natuur en landschap, maar ook naar de baten van extra veiligheid voor omwonenden rond het IJsselmeer en het Markermeer. Ook de effecten op de zoetwatervoorraad in het IJsselmeer zijn geanalyseerd. Last but not least, wordt rekening gehouden met de toekomstige, onzekere ontwikkelingen van onder andere de zeespiegelstijging. Flexibiliteit is een belangrijk onderwerp in deze KEA Afsluitdijk.

KBA Norm Afsluitdijk

De vraag die in deze KEA Afsluitdijk niet aan de orde komt, is of de huidige veiligheidsnorm van 1 op 10.000 (welvaarts)optimaal is. Welke veiligheidsnorm voor de Afsluitdijk welvaartsoptimaal is, zal worden onderzocht in een vervolproject: een kosten-batenanalyse (KBA) van de veiligheidsnorm ('KBA Norm Afsluitdijk'). Ondanks deze naam zal dit project ook uitspraken doen over de optimale veiligheidsnorm van de dijkkringen die gelegen zijn aan het IJsselmeer en, waarschijnlijk, ook het Markermeer.

Ambities

Kan er ook méér gedaan worden met de Afsluitdijk? Deze vraag van het kabinet heeft ertoe geleid dat er een veelheid aan ideeën in deze analyse is meegenomen op het gebied van energie, natuur, recreatie en mobiliteit. Deze aanvullende voorstellen – in dit rapport componenten genoemd – zijn in een tweede stap geanalyseerd. De componenten worden ieder vergeleken met de optie 'component niet uitvoeren' of 'niets doen'. De analyse van de componenten betreft daarom een kosten-batenanalyse in de gebruikelijke betekenis van het woord.

Visies zijn gesplitst in kernen en componenten

De genoemde kernen en componenten zijn ontleend aan een zestal 'visies'. Deze visies zijn het resultaat van een verkenning naar de 'Toekomst van de Afsluitdijk' door Rijkswaterstaat, de provincies Noord-Holland en Fryslân samen met onder andere marktpartijen. Om een zuiver beeld te schetsen van de individuele maatregelen zijn de oorspronkelijke visies opgedeeld in 'kernen' – die voldoen aan de minimale functie-eisen – en 'ambitiecomponenten'. Deze componenten kunnen al dan niet worden toegevoegd aan de kernen.

De kernen zelf bestaan ook weer uit verschillende (basis)elementen. Hierbij moet gedacht worden aan het dijklichaam, de schutsluizen, waterbeheer (spuisluizen en pompen) en energie- en natuurelementen. De realisatie van de verbeteringen is zodanig dat alle elementen van de kernen begin 2020 aan de minimale functie-eisen voldoen.

Aanpak onderzoek kernen

De kernen zijn als een geheel geanalyseerd, waarbij wel zoveel als mogelijk de effecten van de individuele elementen worden weergegeven. In deze samenvatting worden dan ook de effecten van de kernen besproken. Een belangrijke conclusie uit deze KEA Afsluitdijk is dat bij de besluitvorming niet een keuze zou moeten worden gemaakt uit een van de zes onderzochte kernen, maar dat beter uit verschillende elementen van deze varianten een zo goed mogelijke combinatie kan worden samengesteld. In de conclusies worden dan ook de voor- en nadelen van de verschillende individuele elementen benoemd.

Beschrijving van kernen en componenten

De kernen (projectvarianten) waarop de KEA betrekking heeft, zijn:

- 2100-Robuust (21R, tevens referentiealternatief),
- Basisalternatief (Ba),
- Monument in Balans (MiB),
- WaddenWerken (WW),
- Natuurlijk Afsluitdijk (NA),
- WaterMachine (WMm).

In *2100-Robuust (21R)* wordt het dijklichaam ‘op de gebruikelijke manier’ verhoogd en verbreed opdat de dijk zonder verdere maatregelen bij het gehanteerde klimaatscenario (W+, 85 cm zeespiegelstijging) mee kan tot het jaar 2100. Ook de huidige spui- en schutsluizen worden direct vernieuwd opdat ze tot 2100 meekunnen. Daarnaast wordt er een Extra Spui Afsluitdijk (ESA) gebouwd. Rond 2035 zijn er bij het W+-scenario voor de zeespiegelstijging aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van IJsselmeerwater. Deze maatregelen waren oorspronkelijk niet opgenomen in de definitie van de kernen. De maatregelen betreffen extra pompen in 2035 en 2060 (met capaciteit 1.000 m³/s per stuk)

Basisalternatief (Ba) kan worden gezien als een ‘minimale variant’. In eerste instantie wordt de dijk zelf door ‘verstening’ overslagbestendig gemaakt. De bestaande spui- en schutsluizen worden eerst gerenoveerd. In 2050 moet de dijk alsnog worden opgehoogd en de spui- en schutsluizen worden vernieuwd. Voor de rest lijkt deze variant veel op 2100-Robuust: ESA wordt gebouwd en in 2035 en 2060 zijn er extra pompen nodig.

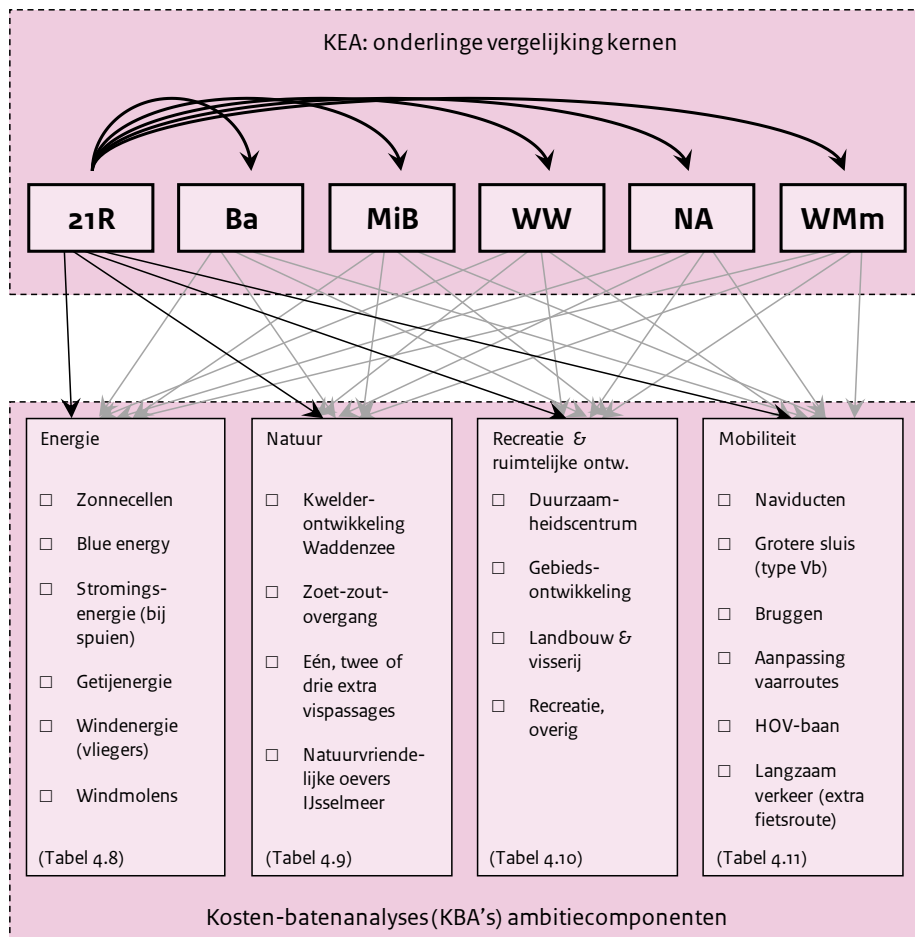
Monument in Balans (MiB) en *WaddenWerken (WW)* verschillen alleen van 2100-Robuust vanwege de dijkoplossing. Bij Monument in Balans wordt er een betonnen stormschild (lees: een muur) op de dijk geplaatst. Bij WaddenWerken wordt er voor de huidige Afsluitdijk aan de Waddenkant een extra dijk gebouwd. Deze zandnok (in de oorspronkelijke visie ook wel kweldernok genoemd) wordt afgedekt met klei en gras.

Natuurlijk Afsluitdijk (NA) onderscheidt zich vooral van 2100-Robuust door de aanleg van een ‘tussenmeer’ in het IJsselmeer. Hiertoe wordt een zanddijk aangelegd en wordt het tussenmeer ‘verondiept’ ten behoeve van de natuurwaarde. Er wordt tevens een grootschalige blue energy-centrale aangelegd. Deze centrale moet energie opwekken uit het potentiaalverschil tussen zoet en zout water. Hiermee wordt tevens water uit het IJsselmeer gepompt. Tot slot wordt er een Valmeer (diameter 3 km) aangelegd dat ’s nachts wordt leeggepompt. Dit kost energie (tegen dalstroomtarief). Overdag stroomt er water in en wordt er zodoende energie opgewekt tegen duurder dagstroomtarief.

Ook bij *WaterMachine (WMm)* wordt er een verondiept tussenmeer aangelegd. In deze variant wordt ESA niet gebouwd, maar wordt op die plek een getijcentrale/pomp aangelegd. Met de getijcentrale kan energie worden opgewekt door eb en vloed. Hierdoor ontstaat er ook getijbeweging in het tussenmeer, wat goed is voor de natuur. De installatie kan ook worden gebruikt om overtollig water uit het IJsselmeer te pompen. Dat zoete water bereikt de pomp via het tussenmeer. Vanwege de getijcentrale/pomp is er minder spuicapaciteit nodig. Vanaf 2020 is er maar één spui: een vernieuwde spui bij Den Oever. In 2060 is er nog wel een extra pomp nodig.

De bovengenoemde kernen kunnen worden gecombineerd met vele componenten. Figuur 1 geeft een overzicht van de beschouwde componenten.

Figuur 1 Stapsgewijze analyse: eerst 'KEA: onderlinge vergelijking kernen', vervolgens 'KBA's ambitiecomponenten'



Bij W+-scenario: al in 2035 een probleem met waterafvoer!

Uit een kritische beschouwing van de oorspronkelijke kernen bleek dat deze vooral waren ontworpen vanuit de eisen van nu. Al 15 jaar na aanleg (dus in 2035) bleken er bij het gehanteerde klimaatscenario W+ (zeespiegelstijging +25 cm in 2035 t.o.v. heden, exclusief bodemdaling) aanzienlijke aanvullende maatregelen voor het afvoeren van overtollig water uit het IJsselmeer nodig bovenop de bedachte varianten en ideeën. Bij de besluitvorming over de Afsluitdijk zou dus gekeken moeten worden of de gekozen maatregelen afdoende soelaas bieden voor de – onzekere – toekomst.

In de meeste projectalternatieven zijn er drie spuisluizen: bij Den Oever, bij Kornwerderzand en ESA. Door de zeespiegelstijging in het W+-scenario bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil bieden deze spuisluizen echter al in 2035 onvoldoende capaciteit. Dan moeten nieuwe maatregelen worden getroffen en wel bij vrijwel alle onderzochte projectalternatieven. Hiervoor bestaan op de lange termijn twee mogelijkheden: het installeren van extra pompen in de Afsluitdijk of het verhogen van het IJsselmeerpeil. Dit laatste vereist waarschijnlijk het verhogen van de dijken rondom het IJsselmeer, zodat – voor de KEA Afsluitdijk – het installeren van pompen het meest overzichtelijk is en waarschijnlijk ook het goedkoopst. Conform een met Rijkswaterstaat afgestemde werkhypothese zullen er in aanvulling op de genoemde drie spuisluizen zowel in 2035 als in 2060 extra pompen met een capaciteit van zo'n 1.000 m³/s worden geïnstalleerd.

Met nadruk wordt gesteld dat *een* werkhypothese noodzakelijk is om een bruikbare, consistente en voor het beleid informatieve KEA Afsluitdijk te kunnen maken. De gekozen werkhypothese is geen veronderstelde of aanbevolen beleidskeuze. Het Deltaprogramma, deelprogramma IJsselmeergebied, levert medio 2014 een advies over het lange termijn peilbeheer van het IJsselmeer. Het kabinetsbesluit hierover is voorzien eind 2015.

Kosten en baten van de kernen

De volgende (welvaarts)effecten van de kernen zijn in kaart gebracht en zoveel als mogelijk in geld uitgedrukt:

1. Technische haalbaarheid;
2. Natuureffecten:
 - a. Significant negatieve natuureffecten Natura 2000-gebieden, waardoor mogelijk geen vergunning Natuurbeschermingswet.
 - b. Totale (positieve én negatieve) natuureffecten, gemeten in natuurlinies.
3. Kosten van aanleg, onderhoud en energiegebruik en -opbrengst (incl. CO₂-uitstoot);
4. Flexibiliteit van de kernen voor zeespiegelstijging;
5. Veiligheid: verwachte schade rond IJsselmeer en Markermeer;
6. Landschap en monumenten;
7. Strategische zoetwatervoorraad: effect kleiner volume IJsselmeer en overslaand zout water;
8. Archeologie;
9. Wegverkeer, scheepvaart, fiets en openbaar vervoer;
10. Externe effecten, geluid- en lichthinder en 'militair gebruik'.

In deze samenvatting bespreken we alleen de zes eerstgenoemde effecten. De overige effecten hebben veelal geen of een gering (welvaarts)effect. In de gevallen dat er wel substantiële effecten optreden, wordt dit gemeld in de conclusies.

Tabel 1 geeft een overzicht van de zes effecten.

Tabel 1 Overzicht (welvaarts)effecten kernen: technische haalbaarheid, natuureffecten, kosten, flexibiliteit, veiligheid en landschap en monumenten

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Randvoorwaarde: technische haalbaarheid volledige kern	ja	ja	ja	ja	nee/ onbekend	ja, mits
Randvoorwaarde: risico significant negatieve natuureffecten Natuurbeschermingswet	gering	gering	geen	hoog	relevant	beperkt/ relevant
Kosten van aanleg, onderhoud en energie	miljoenen euro					
Dijklichaam	440	350	360	440	430	360
Schutsluizen	200	120	200	200	200	200
Spuisluizen	690	610	690	690	530	230
Energie-elementen	0	0	0	0	1.730	710
Natuurelementen	0	0	0	0	550	690+?(a)
Subtotaal	1.330	1.080	1.250	1.320	3.440	2.180+?(a)
Werkhypothese: extra pompen 2035/2060	300	300	300	300	210	70
Energiegebruik/-opbrengst (negatief= netto opbrengst)	10	10	10	10	-980	10
Mitigerende/compenserende maatregelen	0	0	0	?(a)	0	0
Totaal kosten aanleg, onderhoud en energie	1.640	1.390	1.560	1.630+?(a)	2.670	2.260+?(a)
Totaal	verschil t.o.v. 21R (positief = 'baten' / 'lagere kosten')					
Verschil t.o.v. 21R (positief = lagere kosten)	ref	250	80	10-?(a)	-1.030	-610-?(a)
Flexibiliteit: <i>additioneel</i> verwacht kostenvoordeel bij andere klimaatscenario's t.o.v. 21R	ref	0 à 80	0	0	-80 à 0	-160 à 0
Veiligheid: verwachte schade rond IJsselmeer en Markermeer	ref	-30	0	0	0	-30
Totaal verschil t.o.v. 21R (positief = lagere kosten)	ref	220 à 300	80	10-?(a)	-1.110 à -1.030	-800 à -640-(a)
Onderscheidend verschil in natuurspunten?	ref	nee	nee	nee	ja	?
Natuurspunten, strook 6 km om Afsluitdijk	11.740				1.630	?
Idem, in % van natuurspunten 21R	ref				14%	?
Landschap en monumenten	ref	?	?	?	?	?
? = Niet bekend, effect dient (politiek) afgewogen te worden tegen de andere effecten. (a) = Deze kostenposten zijn niet bekend, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend. ref = Referentiealternatief. Bedragen in netto contante waarde (prijspeil 2009, marktprijzen inclusief btw en eventuele kosten Rijkswaterstaat, basisjaar 2015).						

De kosten van aanleg, onderhoud en energie (inclusief eventuele opbrengsten aan energie) zijn contant gemaakt met een discontovoet van 5,5%. Dit geldt ook voor het additionele kostenvoordeel ten aanzien van flexibiliteit. De verwachte schade als gevolg van (on)veiligheid rond het IJsselmeer en het Markermeer zijn contant gemaakt met een discontovoet van 4,7%.

1. Technische haalbaarheid volledige kern

Uitleg tabel

De kern 2100-Robuust (21R) is technisch haalbaar: vandaar 'ja'. Dit geldt in principe ook voor de kernen Basisalternatief (Ba), Monument in Balans (MiB) en WaddenWerken (WW). De kern Natuurlijk Afsluitdijk (NA) zoals omschreven in hoofdstuk 4 is niet haalbaar. Na enkele aanpassingen van deze kern wordt de technische haalbaarheid 'onbekend'.

Conclusie

De kernen 2100-Robuust (21R), Monument in Balans (MiB) en WaddenWerken (WW) zijn zonder enig voorbehoud technisch realiseerbaar. De kern Natuurlijk Afsluitdijk (NA) is niet realiseerbaar. De blue energy-centrale is op zijn vroegst pas rond 2030 technisch realiseerbaar. Het staat bovendien geenszins vast dat deze techniek praktisch op grote schaal uitvoerbaar en rendabel zal zijn. De technische haalbaarheid van het element Valmeer in deze kern is onbekend. WaterMachine (WMm) is technisch realiseerbaar mits het ontwerp van de spui ESA wordt aangepast aan de beoogde functie van getijcentrale/pomp. De kern Basisalternatief (Ba) waarin alle oude kunstwerken eerst gerenoveerd worden, lijkt ook technisch haalbaar. Dit oordeel is gebaseerd op een 'expert opinion'.

In een eerder stadium van het project was er een zevende variant: WaterMachine zonder ESA (WMz). Deze variant is bijna gelijk aan de variant WaterMachine. Het enige verschil is dat de pompturbine niet zou worden gebouwd op de huidige plek van ESA, maar dat de bestaande spuisluis bij Kornwerderzand hiervoor zou worden gebruikt. Het inbouwen van een getijcentrale/pomp in deze oude spuisluis is echter technisch niet haalbaar. De fundering op houten palen en verdere opbouw uit stampbeton (ongewapend beton van lage kwaliteit) is hier onvoldoende tegen bestand. De variant Watermachine zonder ESA vervalt daarmee en wordt in dit rapport niet verder behandeld.

2. Natuureffecten

De effecten op de natuur zijn bepaald door twee verschillende invalshoeken. Als eerste wordt gekeken naar significant negatieve natuureffecten op Natura 2000-doelstellingen (Natuurbeschermingswet). Vervolgens wordt gekeken naar de totale (positieve én negatieve) natuureffecten, gemeten in natuurlinpunten. Het kan zijn dat een substantiële toename van de totale natuurwaarde (in punten) samengaat met significant negatieve effecten op een door Natura 2000-wetgeving beschermde soort of habitat. Voor sommige soorten en habitats mag er volgens deze wetgeving namelijk geen enkele achteruitgang in kwaliteit of kwantiteit optreden. Beide invalshoeken worden apart besproken.

Significant negatieve natuureffecten waardoor mogelijk geen vergunning

WaddenWerken heeft een 'hoog' risico op het optreden van significant negatieve effecten op de omringende natuur (Natura 2000 gebieden). Bij Natuurlijk Afsluitdijk is dit risico nog steeds 'relevant' en bij WaterMachine 'beperkt' tot 'relevant'. De kernen 2100-Robuust en Basisalternatief hebben geen significant negatieve effecten op de lange termijn. Significantie op de korte termijn (d.w.z. tijdelijk) is niet uit te sluiten, waardoor de typering 'gering' geldt. Ten slotte kan worden gesteld dat Monument in Balans als enige 'geen' risico kent op het optreden van significant negatieve effecten (op korte en lange termijn). Voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 mogen er in principe géén significant negatieve effecten optreden.

Totale (positieve én negatieve) natuureffecten gemeten met natuurlinpunten

De totale (positieve én negatieve) natuureffecten zijn bepaald door de kwantiteit, kwaliteit en zeldzaamheid van de natuur in 'natuurlinpunten' uit te drukken. Alle natuureffecten zijn door gewogen aggregatie teruggebracht tot één getal: natuurlinpunten. Dit is gebeurd mede op basis van expert-opinion door ecologen van de Grontmij. Natuurlinpunten zijn volgens het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) geschikt om projectalternatieven te ordenen op hun natuureffecten.

De (kleine) verschillen in de natuureffecten van de kernen 2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans en WaddenWerken zijn niet onderscheidend volgens de natuurlinpunten-methode. De kern Natuurlijk Afsluitdijk, en dan vooral de zanddijk met het 'verondiepte' tussenmeer, leidt tot een natuurwinst van zo'n 1.600 punten (+14%). Een dergelijke natuurlinpunten-winst kan overigens ook worden gerealiseerd door de aanleg van één extra vispassage (kosten 10 mln euro). Doordat het bij WaterMachine noodzakelijk is om veelvuldig water weg te pompen via het tussenmeer, zijn er

geen natuureffecten van WaterMachine voorhanden. Mogelijk is de natuurwinst van een dergelijk tussenmeer bij veelvuldig pompen beperkt.

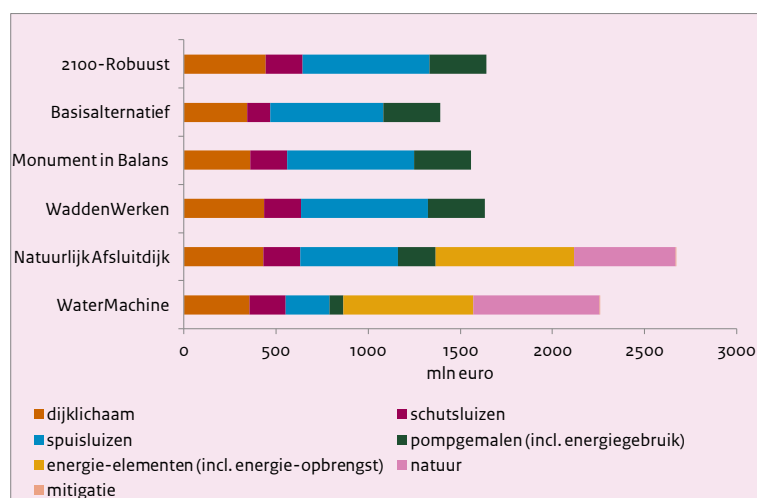
3. Kosten van aanleg, onderhoud en energie (incl. CO₂-uitstoot)

De totale contante waarde van aanleg-, onderhouds- en energiekosten van 2100-Robuust bedragen samen zo'n 1,6 miljard euro bij een discontovoet van 5,5% (nominaal 2,4 miljard euro). De contante kosten van de kernen zijn daarbij opgedeeld naar de verschillende elementen waaruit ze bestaan: dijklichaam, schutsluizen, spuisluizen, energie-elementen, natuurelementen, energiegebruik/opwekking (incl. CO₂-uitstoot), beheer, mitigerende maatregelen en extra pompen (werkhypothese).

Basisalternatief is door zijn gefaseerde aanpak van het dijklichaam en de kunstwerken in contante waarde 250 mln goedkoper. Monument in Balans is door een goedkoper stormschild 80 mln euro (contante waarde) goedkoper dan 2100-Robuust. De zandnok in WaddenWerken is in contante waarde ongeveer even duur als de traditionele ophoging en verbreding van het dijklichaam bij 2100-Robuust. De meerkosten van 1,0 miljard euro van Natuurlijk Afsluitdijk zijn vooral toe te schrijven aan de aanleg van het Valmeer en de zanddijk met het 'verondiepte' tussenmeer. De meerkosten van 0,6 miljard euro van WaterMachine komen primair door de zanddijk en het 'verondiepte' tussenmeer.

Figuur 2 geeft een grafisch overzicht van de contante kosten van de onderzochte projectalternatieven. Hieruit blijkt dat de kosten voor waterbeheer (spuisluizen en pompgemalen) veruit de grootste kostenpost vormen bij de 'goedkopere' alternatieven (2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans en WaddenWerken).

Figuur 2 Contante kosten van de onderzochte projectalternatieven*



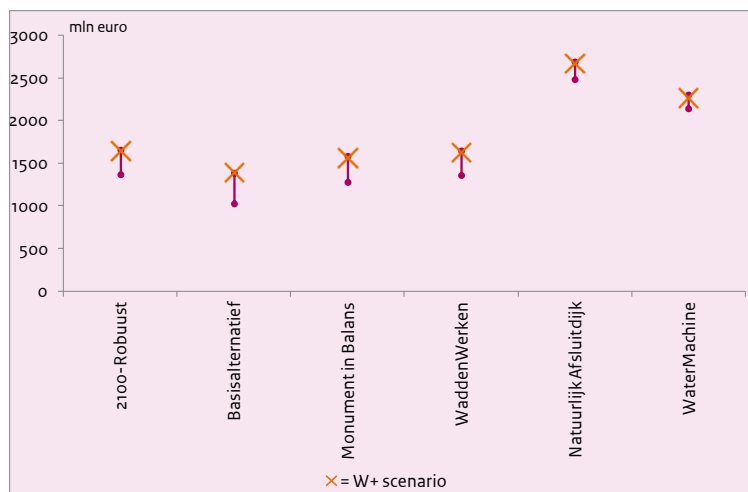
*Marktprijs, incl. btw en kosten Rijkswaterstaat, prijspeil 2009.

4. Flexibiliteit: *additioneel* verwacht kostenvoordeel bij andere klimaatscenario's

Alle kernen kunnen – gemeten in contante waarde – tegen beperkte meerkosten worden aangepast aan hogere zeespiegelstijgingen. Bij een lagere zeespiegelstijging kunnen aanzienlijke kosten bespaard worden. Zie Figuur 3.

Basisalternatief is door zijn gefaseerde aanpak van eerst renoveren en dan pas nieuwbouw flexibeler dan de overige kernen. Bij een 'lage' zeespiegelstijging (van 35 cm tot 2100) kan het kostenvoordeel van 250 mln euro in het W+-scenario oplopen met 80 mln euro tot 330 mln euro (contante waarde). Dit komt doordat de overslagbestendige dijk dan niet in 2050 hoeft te worden opgehoogd en verbreed. Monument in Balans en WaddenWerken verschillen in contante waarde op dit punt niet van 2100-Robuust. Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine zijn juist 'minder flexibel' dan 2100-Robuust: de méérkosten bovenop de eerder genoemde kostenverschillen bij andere scenario's ten opzichte van 2100-Robuust kunnen oplopen met maximaal 160 mln euro (contante waarde).

Figuur 3 Aanleg-, onderhoud en energiekosten kernen bij verschillende scenario's*



*Bandbreedte bij scenario 'laag' en 'hoog', in contante waarde, marktprijzen, prijspeil 2009.

5. Veiligheid: verwachte schade rond IJsselmeer en Markermeer

Uitleg tabel

Voor alle kernen is de verwachte schade door alle mogelijke faaloorzaken van de Afsluitdijk en de dijkringen gelegen rond het IJsselmeer en Markermeer berekend. Ook is rekening gehouden met het mogelijk doorbreken van de Houtribdijk waarna de dijkringen gelegen aan het Markermeer een verhoogde kans op doorbreken hebben. Een negatief bedrag in bovenstaande tabel betreft extra schade en dus een negatief welvaartseffect.

Conclusies

Alle kernen bieden in alle jaren tot het jaar 2100 een bescherming tegen overstromen van minimaal 1 op 10.000. Alle kernen bieden bij aanleg in 2020 een beduidend hogere veiligheid. De minimale veiligheid is dan 1 op 100.000. Andere bieden dan een veiligheid van zelfs 1 op (maximaal) 1.000.000. Deze faalkansen (en daarmee de bijbehorende verwachte schades) lopen in de jaren daarna op door de zeespiegelstijging (bij het veronderstelde W+-scenario met 85 cm in 2100). De contant gemaakte baten van deze verschillen in veiligheid zijn echter beperkt: maximaal 30 mln euro. De kosten van de relatief beperktere veiligheid van Basisalternatief staan tegenover de baten van een grotere flexibiliteit van deze kern.

Het wegpompen van overtollig water in plaats van spuien heeft mogelijk wél substantiële veiligheidsbaten door een betere peilbeheersing van het IJsselmeer. Het kwantificeren hiervan vergt aanvullend onderzoek.

6. Landschap en monumenten

Het is niet mogelijk om de verschillen op het terrein van 'landschap en monumenten' te monetariseren. Deze verschillen (zie paragraaf 6.7) moeten daarom samen met alle overige welvaartseffecten door de besluitvormers worden meegewogen bij het uiteindelijke besluit. De meest ingrijpende verandering van het landschap betreft de aanleg van het tussenmeer bij zowel Natuurlijk Afsluitdijk als WaterMachine. Bij Natuurlijk Afsluitdijk wordt tevens een Valmeer gerealiseerd. Bij een voorgenomen wijziging van een Rijksmonument – of een beschermd dorpsgezicht – is een vergunning nodig in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). De Afsluitdijk als geheel is geen Rijksmonument, maar enkele afzonderlijke onderdelen zijn dat wel. Daarnaast is Kornwerderzand een beschermd dorpsgezicht.

De versterking van de Afsluitdijk bij de kernen Basisalternatief en WaterMachine kan tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) worden bedekt met gras opdat het aanzicht van de dijk niet wezenlijk verandert ten opzichte van de huidige dijk en 2100-Robuust.

Gevoeligheidsanalyses: op zoek naar goedkopere elementen

In de gevoeligheidsanalyses is nagegaan in welke mate de uitkomsten afhankelijk zijn voor een verandering van één of meer aannamen. Ook zijn mogelijkheden verkend om bepaalde elementen in de kernen te veranderen. Gekeken is of de kernen goedkoper kunnen worden gemaakt dan wel flexibeler voor de onzekere zeespiegelstijging.

De belangrijkste les is dat er fors (d.w.z. honderden miljoenen euro) bespaard kan worden op de kosten voor waterafvoer ten opzichte van de oorspronkelijke kernen. Verder bleken er vele subvarianten en optimalisaties van de kernen mogelijk. De belangrijkste zijn:

- De nieuwbouw van de spui Kornwerderzand kan worden uitgesteld: in vrijwel alle varianten en scenario's blijkt het dichtzetten van de huidige spui in 2020 en pas weer nieuw bouwen als deze nodig is, goedkoper dan het renoveren van deze spui;
- Bij het veronderstelde W+-scenario blijkt het aanmerkelijk goedkoper te zijn om ESA niet te bouwen, maar daarvoor in de plaats direct een pomp te realiseren;
- Andere schutsluizen zijn mogelijk (waaronder naviducten);
- De natuurwaarde van de Waddenzee en het IJsselmeer kan vrij goedkoop aanmerkelijk worden verbeterd door één of meer extra vispassages (kosten zo'n 10 mln per stuk).

Op al deze punten wordt nader ingegaan in de conclusies per element en component.

Nieuwe methodieken voor toekomstig onderzoek

Tot slot biedt deze KEA Afsluitdijk nieuwe methodieken voor het waarderen van effecten op het gebied van waterveiligheid en waterbeheer, die kunnen worden toegepast in toekomstige onderzoeken zoals in het Deltaprogramma. Zowel de uitgewerkte methodiek om de baten van (extra) veiligheid bij onderling afhankelijke dijken te bepalen, als de concrete resultaten hiervan, zijn breder toepasbaar. Uit de analyse bleek bijvoorbeeld dat het wegpompen van water uit het IJsselmeer mogelijk aanzienlijke veiligheidsbaten oplevert, die nader onderzoek verdienen. Nader onderzoek wordt ook aanbevolen naar de faalkans en de schade voor de stad Amsterdam voor overstromingen vanuit het IJmeer/Markermeer. Dit geldt ook voor de invloed van de verwachte bodemdaling op dijken langs het IJsselmeer en Markermeer. In de vervolgstudie KBA Norm Afsluitdijk kan dit onderzoek plaatsvinden. Ook is de waarde van flexibiliteit van de verschillende projectalternatieven voor andere klimaatscenario's in geld uitgedrukt. De waarde van flexibiliteit wordt in de wetenschappelijke literatuur veelal de reële optiewaarde genoemd.

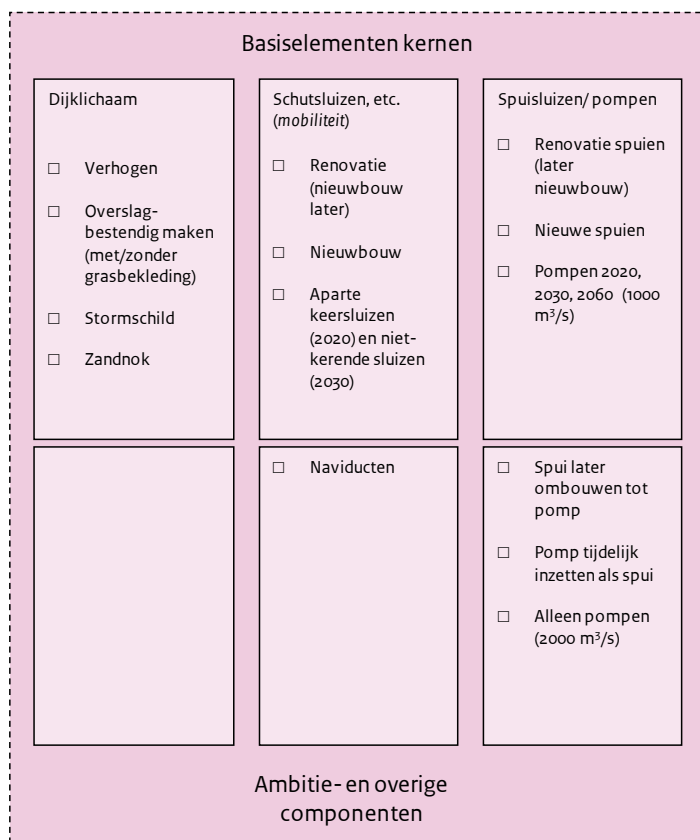
Conclusies per element en component

Besluitvorming: keuze uit de individuele elementen (niet 1 kern kiezen)

Een belangrijke conclusie uit deze KEA Afsluitdijk is dat bij de besluitvorming niet een keuze zou moeten worden gemaakt uit een van de zes onderzochte varianten, maar dat beter uit verschillende elementen van deze varianten een zo goed mogelijke combinatie kan worden samengesteld. Vooral de keuze om nu (nog?) te investeren in nieuwe capaciteit voor spuien (onder vrij verval), dan wel direct over te stappen op het wegpompen van overtollig IJsselmeerwater, behoeft aandacht en kan wellicht leiden tot belangrijke besparingen.

In de onderstaande conclusies worden de individuele elementen zo kort mogelijk een voor een beschreven en worden de voor- en nadelen benoemd. Als eerste stap biedt Figuur 4 een overzicht van de mogelijkheden voor de drie basiselementen van de kernen: dijklichaam, schutsluizen en oplossingen voor waterafvoer. Aan eind van de conclusies wordt in Figuur 5 een overzicht gegeven van de overige mogelijkheden.

Figuur 4 Mogelijkheden: basiselementen, ambitie en overige componenten



Het dijklichaam: vijf mogelijkheden

De goedkoopste manier om het dijklichaam aan de huidige wettelijke eisen te laten voldoen, betreft het overslagbestendig maken. Dit kost 270 miljoen euro (nominaal, zie Tabel 2). In zijn meest elementaire vormgeving wordt hierbij de dijk 'verstenigd'. Voor 10 miljoen euro kan het steenachtige materiaal worden bekleed met gras opdat het aanzicht van de dijk niet wezenlijk verandert. Bij het gehanteerde klimaatscenario W+ moet het dijklichaam dan wel alsnog worden versterkt en verhoogd in 2050 (bij een zeespiegelstijging van 35 cm ten opzichte van heden). De contante

kosten van deze versterking bedragen waarschijnlijk minimaal 70 miljoen euro. De totale contante kosten van het overslagbestendig maken van het dijklichaam inclusief latere verhoging komen op 330 miljoen euro.

De goedkoopste manier om het dijklichaam in één keer tot het jaar 2100 te laten voldoen aan de huidige wettelijke eis, is het plaatsen van een betonnen 'stormschild' (lees: muur) op de huidige Afsluitdijk. De contante kosten hiervan bedragen 360 miljoen euro. De traditionele oplossing van het verhogen en verbreden van de dijk uit het projectalternatief 2100-Robuust kost 80 miljoen euro meer: totaal 440 miljoen euro (contant). Het aanbrengen van een tweede dijk voor de Afsluitdijk in de vorm van een zandnok bekleed met klei en gras (variant WaddenWerken) kost in contante waarde ook 440 miljoen euro. Deze oplossing kent echter een 'hoog' risico op significant 'negatieve' natuureffecten voor de Waddenzee (een Natura 2000-gebied) en daardoor op het niet verkrijgen van een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. Het overslagbestendig maken en het traditioneel verhogen en verbreden hebben op de lange termijn geen significant negatieve natuureffecten op Natura 2000-gebieden. Significant negatieve effecten zijn op korte termijn (d.w.z. tijdelijk) niet uit te sluiten, waarvoor de typering 'gering' van toepassing is. Het plaatsen van een stormschild op de dijk kent in dit verband geen enkel risico.

De verschillen voor de totale natuur (positieve én negatieve effecten) van de genoemde dijkoplossingen zijn niet onderscheidend. De totale natuureffecten zijn hierbij door gewogen aggregatie teruggebracht tot één getal: natuurluipen.

Het kan zijn dat een niet-onderscheidend verschil in het totaal aantal natuurluipen samengaat met significant negatieve natuureffecten op een door Natura 2000-wetgeving beschermde soort of habitat. Voor sommige soorten en habitats mag er namelijk volgens deze wetgeving geen enkele achteruitgang in kwaliteit of kwantiteit optreden.

Tot slot is er ook een dijkoplossing (onderdeel van projectalternatief WaterMachine) onderzocht die in 2020 het dijklichaam zowel overslagbestendig maakt als de dijk iets verhoogt, waardoor de dijk in 2065 bij het W+-scenario nogmaals moet worden versterkt/verhoogd. De contante kosten daarvan zijn vrijwel even hoog als die van het stormschild: 350 miljoen euro.

Dijkoplossingen die de dijk eerst overslagbestendig maken en later (2050/2065) de dijk nogmaals versterken zijn 'flexibeler' ten aanzien van de – onzekere – zeespiegelstijging dan de andere oplossingen. Ze bieden tot die tweede versterking echter wel een mindere veiligheid. De verwachte extra schade rond het IJsselmeer en het Markermeer als gevolg daarvan bedraagt enkele tientallen miljoenen euro's. De baten van 'grotere flexibiliteit' bedragen ook enkele tientallen miljoenen euro's. Gemonetariseerd vallen de 'extra verwachte veiligheidskosten' dus globaal weg tegen de baten van een 'grotere flexibiliteit'.

Het extra zoute water dat in het IJsselmeer terecht kan komen bij een overslagbestendige dijk, lijkt een verwaarloosbaar effect te hebben volgens deskundigen van de Waterdienst en Deltares. Zelfs bij een berekende maximale overslag aan zout water zijn er geen effecten op de natuur te verwachten. De zoutwaterinlaat voor drinkwater hoeft dan maximaal een à twee weken te worden gesloten, hetgeen niet tot problemen zal leiden. De geraadpleegde deskundigen adviseren wel nader onderzoek om deze conclusies met zekerheid te kunnen vaststellen. Landbouw zal geen schade ondervinden van overslaand zout water: de overslag vindt namelijk plaats in de winter, terwijl landbouw alleen zoet water nodig heeft uit het IJsselmeer in de zomer.

Tabel 2 Overzicht nominale en contante kosten van vijf oplossingen voor het dijklichaam

	Overslag- bestendig	Stormschild	Traditioneel verhogen	Zandnok	Overslag- bestendig + iets verhogen
miljoenen euro					
Nominale kosten					
Dijklichaam 2020	270	380	450	360	330
Dijklichaam aanvullend (2050/2065)	380				380
Totaal	650	380	450	360	710
Contante kosten (incl. onderhoud)					
Dijklichaam 2020	260	360	440	440	320
Dijklichaam aanvullend (2050/2065)	70				30
Totaal	330	360	440	440	350
Bedragen in marktprijzen inclusief btw en eventuele kosten Rijkswaterstaat, prijspeil 2009. Bij contante kosten is het basisjaar 2015 aangehouden. Uitgaande van het W+-scenario.					

Schutsluizen: renovatie, nieuwbouw of een naviduct

De goedkoopste oplossing om de schutsluizen in 2020 te laten voldoen aan de huidige wettelijke eisen is renovatie. Dit kost nominaal 80 miljoen euro. Omdat de schutsluizen dan in 2050 alsnog nieuw gebouwd moeten worden, komen de totale contante kosten (inclusief onderhoud) uit op 120 miljoen euro. Nog altijd 80 miljoen goedkoper dan het direct nieuw bouwen van de beide schutsluizen in de Afsluitdijk.

Tabel 3 Overzicht nominale en contante kosten schutsluizen

	Renovatie 2020 plus nieuwbouw 2050	Nieuwbouw
miljoenen euro		
Nominale kosten		
Den Oever	150	110
Kornwerderzand	140	100
Totaal	280	210
Contante kosten (inclusief onderhoud)		
Den Oever	60	100
Kornwerderzand	60	90
Totaal	120	200
Bedragen in marktprijzen inclusief btw en kosten Rijkswaterstaat, prijspeil 2009. Bij contante kosten is het basisjaar 2015 aangehouden. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 miljoen.		

Indien er wordt besloten om nieuwe schutsluizen (totaal 210 miljoen euro nominaal, zie Tabel 3) aan te leggen, is het te overwegen in plaats daarvan een naviduct te bouwen. Hierdoor kunnen het wegverkeer en de scheepvaart elkaar ongehinderd passeren. De méérkosten van een naviduct bij Den Oever ten opzichte van een nieuwe schutsluis bedragen 20 miljoen euro. De baten als gevolg van wachttijdreductie voor wegverkeer en scheepvaart, zorgen ervoor dat het uiteindelijke baten-kostensaldo van een naviduct ten opzichte van een nieuwe schutsluis licht negatief is (– 8 miljoen euro). Bij Kornwerderzand bedragen de meerkosten van een naviduct 30 miljoen euro en resteert uiteindelijk ook een negatief baten-kostensaldo: – 16 miljoen euro.

Het renoveren van de schutsluizen en latere nieuwbouw zorgen voor een grotere flexibiliteit ten aanzien van de zeespiegelstijging. De baten hiervan zijn echter ongeveer even groot als de kosten van een verminderde veiligheid (hogere verwachte schade). Beide bedragen enkele tientallen miljoenen euro's.

Oplossingen voor waterafvoer: ESA duurder dan pompen?

De kosten voor waterbeheer om overtollig IJsselmeerwater af te voeren naar de Waddenzee vormen de grootste kostenpost bij de 'goedkopere' kernen (lees: projectalternatieven). In de goedkoopste van de zes onderzochte kernen (Basisalternatief) komen de totale contante kosten van spuisluizen en aanvullende pompen op 920 miljoen euro (nominaal 2,0 miljard euro), zie Tabel 4.

Tabel 4 Kosten voor spuisluizen en pompgemalen voor verschillende oplossingen voor waterbeheer

	Basisalternatief (Ba)	Goedkoopste variant: Ba-pompen + spui (zonder ESA)	Goedkoopste variant met ESA: Ba-zonder renovatie Kwz
Nominale kosten			
Spuisluizen	950	140	610
Pompgemalen	1.000	1.000	1.000
Totaal	1.950	1.140	1.610
Contante kosten (inclusief onderhoud)			
Spuisluizen	610	140	560
Pompgemalen	300	580	280
Energiegebruik	10	20	10
Totaal	920	730	850
Verskil t.o.v. Basisalternatief	ref	190	70
Bedragen in marktprijzen inclusief btw en kosten Rijkswaterstaat, prijspeil 2009. Bij contante kosten is het basisjaar 2015 aangehouden. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvoud van 10 miljoen euro. Uitgaande van het W+-scenario en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. ESA = Extra Spui Afsluitdijk; Kwz = Kornwerderzand.			

Op basis van de in deze KEA Afsluitdijk verkregen inzichten is gezocht naar goedkopere varianten dan Basisalternatief. Het W+-scenario (stijging zeespiegel met 85 cm in 2100) en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil blijven hierbij uitgangspunt. De goedkoopste variant levert een besparing op van 20% op de spui- en pompkosten. Het idee achter deze variant is zo snel als mogelijk overstappen op pompen in 2020 en alleen nog de huidige spuisluis bij Den Oever renoveren. Hierbij wordt ESA (Extra Spui Afsluitdijk) niet gerealiseerd, maar wordt in plaats daarvan op die plek in 2020 direct een pomp gebouwd. De spui Kornwerderzand wordt gesloten. Deze variant levert in contante waarde een besparing op van 190 miljoen euro (zie tweede kolom van Tabel 4, variant Ba – pompen + spui, zie ook hoofdstuk 8). In nominale investeringskosten betreft het een besparing van 40%: dus ongeveer 800 miljoen euro goedkoper.

Ook is gezocht naar een goedkope variant waarin ESA wél wordt gerealiseerd. Naast ESA wordt dan in 2020 de spui in Den Oever gerenoveerd. De spui in Kornwerderzand wordt in 2020 gesloten en pas nieuw gebouwd als die nodig is. In het W+-scenario en bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil is dat al in 2025. Na 2035 worden er ook in deze variant additionele pompen bijgeplaatst. De spui bij Den Oever wordt in 2050 gesloten. Deze variant met ESA (zie laatste kolom van Tabel 4, variant Ba – zonder renovatie Kwz) is in contante waarde 120 miljoen duurder dan de bovengenoemde variant zonder ESA. De nominale investeringskosten van de variant met ESA zijn 470 miljoen euro hoger.

De nominale investeringskosten van ESA bedragen 300 miljoen euro. In het meest recente MIRT-projectenboek wordt voor de uitvoering van ESA vooralsnog rekening gehouden met een benodigd budget van 246 miljoen euro.

Beide varianten (dus met en zonder ESA) kennen twee overeenkomsten:

- De huidige spui bij Den Oever wordt in 2020 gerenoveerd, en
- De huidige spui bij Kornwerderzand wordt in 2020 gesloten. In de variant met ESA wordt die herbouwd als die nodig is.

Deze beide bouwstenen om te komen tot een zo goedkoop mogelijke waterafvoer lijken dus 'no-regret'. Het realiseren van een pomp in de bestaande spui Kornwerderzand zoals is voorgesteld in een van de projectalternatieven was helaas technisch niet haalbaar: de 80 jaar oude fundering van deze spui, met houten palen en pijlers van ongewapend beton van lage kwaliteit, is niet bestand tegen de trillingen van de pompen. Mogelijk kan dit idee om pompen in oude kunstwerken in te bouwen elders wel worden gerealiseerd. De gevonden varianten met en zonder ESA kunnen overigens mogelijk nog verder worden verbeterd.

Kosten voor waterafvoer bij lage en hoge zeespiegelstijging

De genoemde kosten zijn afhankelijk van de onzekere zeespiegelstijging. Als de zeespiegel stijgt conform het laagste KNMI-scenario (+35 cm in 2100), dan is de variant waarin ESA wél wordt gerealiseerd in contante waarde 150 miljoen goedkoper dan de variant waarin ESA niet wordt gerealiseerd maar al direct in 2020 water wordt weggepompt. In nominale kosten is de variant met ESA ook dan nog steeds zo'n 400 miljoen duurder. Bij een snellere zeespiegelstijging dan het W+-scenario is de variant met pompen voordeliger.

Het feit dat de variant met ESA goedkoper is bij een lage zeespiegelstijging komt door de keuze voor het sluiten van de spui bij Kornwerderzand in 2020 (en pas te herbouwen als die nodig is). Deze keuze voor het sluiten van Kornwerderzand in 2020 is vrijwel altijd goedkoper dan het renoveren van deze spui. Indien er wordt gekozen om Kornwerderzand wel te renoveren in 2020 of direct nieuw te bouwen, dan is het alternatief pompen in 2020 in contante waarde nooit substantieel duurder. In nominale investeringskosten is de keuze voor pompen bij alle scenario's voor de zeespiegelstijging (en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil) voordeliger.

Pompen heeft mogelijk substantiële veiligheidsbaten t.o.v. spuien

Verder bleek uit de analyse van de veiligheidsbaten dat het wegpompen van IJsselmeerwater mogelijk substantiële veiligheidsbaten oplevert ten opzichte van spuien. Mogelijk leidt dit tot besparingen in de kosten voor dijkverhogingen. Het kwantificeren van deze baten vereist nader onderzoek. De KBA Norm Afsluitdijk biedt hiervoor mogelijkheden. Vanwege deze 'baten' van pompen is het zelfs niet uitgesloten dat óók bij een keuze voor een peilverhoging van het IJsselmeer pompen goedkoper is dan spuien.

Pompen en spuien in relatie tot peil IJsselmeer

Een keuze voor pompen of spuien hangt samen met een besluit over het toekomstige peil van het IJsselmeer. Idealiter wordt de keuze tussen bouw van 'spuien' dan wel 'pompen' in 2020 uitgesteld totdat er meer duidelijkheid is over het lange termijn peilbeheer van het IJsselmeer. Het Deltaprogramma, deelprogramma IJsselmeergebied, levert hierover medio 2014 een advies. Het kabinetsbesluit is voorzien eind 2015. Deze KEA Afsluitdijk geeft relevante informatie over dit peilbeheer. Niet alleen zijn de ontwikkelde methoden bruikbaar om de (welvaarts)effecten op zoetwatervoorraad, veiligheid en flexibiliteit voor de onzekere zeespiegelstijging te bepalen. Ook de concrete kostencijfers van pompen en spuien zijn toepasbaar. Wel wordt nader onderzoek geadviseerd naar de minimale benodigde spui- en/of pompcapaciteiten op de korte en lange termijn. Wijzigingen ten opzichte van de in deze KEA gemaakte veronderstelde capaciteiten zullen leiden tot andere kosten voor 'spuien' dan wel 'pompen'.

Levensduurverlengende investeringen spui- en schutsluizen

Bij de spui- en schutsluizen in de Afsluitdijk zijn levensduurverlengende investeringen noodzakelijk. Dit vereist een aanvullende inspanning om de sluizen tot en met 2020 adequaat te laten functioneren op 'het huidige niveau'. De kosten hiervan bedragen 25 miljoen euro (nominaal). Deze kosten lijken hoe dan ook nodig en komen bovenop de in deze KEA Afsluitdijk genoemde kostenramingen.

Ook is in deze KEA Afsluitdijk aangenomen dat alle maatregelen pas in 2020 worden gerealiseerd. Van Rijkswaterstaat hebben wij begrepen dat er nu reeds (dus ruim voor 2020) behoefte is aan extra capaciteit voor waterafvoer. In de winterperiode lukt het een groot deel van de tijd niet om het winterstreefpeil te handhaven. Het heeft nader onderzoek of actie op korte termijn nodig is en, zo ja, hoe dit het beste ingevuld kan worden. Volgens het meest recente MIRT-projectenboek is de oplevering van ESA voorzien in 2017.

Componenten

Energie: windmolens mogelijk bedrijfseconomisch rendabel; pilot blue energy nuttig

Windmolens op de dijk zijn niet in detail onderzocht. Volgens ECN zijn de kosten van windturbines op de Afsluitdijk vergelijkbaar met turbines op land terwijl de energieopbrengst vergelijkbaar is met turbines op zee. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat het plaatsen van windturbines op de Afsluitdijk bedrijfseconomisch rendabel lijkt. Dit positieve bedrijfseconomische effect moet worden afgewogen tegen nog te onderzoeken positieve en negatieve effecten op landschap en ecologie.

De conclusie van het onderzoek naar de mogelijkheden van blue energy is dat een pilot op de Afsluitdijk logisch lijkt om de techniek verder te ontwikkelen. Een grootschalige blue energy-centrale lijkt nu mogelijk rendabel vanaf 2030. Dit is wel sterk afhankelijk van toekomstige technologische ontwikkelingen en de elektriciteitsprijs. Het realiseren van een grote blue energy-centrale in 2020 is technisch niet haalbaar.

Het realiseren van een Valmeer om energie tijdelijk op te slaan is economisch zeer onrendabel. Technisch is een Valmeer mogelijk niet haalbaar. Stromingsenergie tijdens spuien onder vrij verval kost ook veel meer dan het oplevert aan energie (en CO₂-reductie). Getijenergie levert slechts 10 miljoen euro (contante waarde) op aan energie zodat ook dit geen substantiële investering rechtvaardigt. Energieopwekking met vliegers is momenteel niet realistisch. De Afsluitdijk ligt als locatie voor een pilot of demonstratieproject ook niet direct voor de hand.

Zonnecellen op de Afsluitdijk vanaf 2020 kosten ruwweg tweemaal zoveel als ze opleveren. De vraag is ook of de Afsluitdijk de meest geschikte locatie is voor zonnecellen. Een beslissing hierover is overigens niet afhankelijk van de keuze voor een type dijklichaam en kan dus worden losgekoppeld.

Natuur: een, twee, drie of vier vispassages het meest kosteneffectief

Een, twee, drie of mogelijk zelfs vier extra vispassages om vissen de mogelijkheid te geven te migreren tussen de Waddenzee en het IJsselmeer zijn de meest kosteneffectieve manier om de natuur te verbeteren. Alle onderzochte projectalternatieven hebben één volledige vispassage. De meerwaarde van één vispassage boven geen vispassage is daarom formeel niet vastgesteld. Desondanks is er geen twijfel dat minimaal één vispassage een zeer kosteneffectieve investering is. Een vispassage kost ongeveer 10 miljoen euro per stuk.

Een extra vispassage (totaal dan twee) heeft een blijvend positief effect op de soortenrijkdom van vis en op het voedselaanbod van visetende vogels. In natuurpunten gemeten levert het 1.500 punten op in een strook van 3 km aan beide zijden van de Afsluitdijk: een winst van zo'n 10 à 15%. De precieze vormgeving van een vispassage – mits goed ontworpen – maakt niet uit voor de natuurwinst in de Waddenzee en het IJsselmeer. Een tweede extra vispassage op voldoende afstand van de al aanwezige vispassages levert volgens Grontmij nogmaals 1.500 extra natuurpunten op. Mogelijk levert een derde extra vispassage (vier in totaal) wederom een substantiële natuurwinst op.

Het 'brakke en verondiepte' tussenmeer bij het projectalternatief Natuurlijk Afsluitdijk (inclusief een blue energy-centrale en een Valmeer) levert een substantiële natuurwinst op. Ondanks het feit dat de aanwezigheid van de blue energy-centrale zorgt voor negatieve effecten op de natuur. In natuurpunten gemeten levert het een soortgelijke winst op als één vispassage. Deze natuurwinst in de strook van 6 km langs de Afsluitdijk wordt wel op een andere manier bereikt. Een vispassage verbetert de bestaande natuur, terwijl het tussenmeer de natuurwinst bereikt door toevoeging van een voor Nederland zeldzamer habitattype. Het brakke, verondiepte tussenmeer kost 680 miljoen euro (nominaal).

Een brak en verondiept tussenmeer (inclusief volledige vispassage) levert maximaal de natuurwinst op van zo'n twee à drie extra vispassages. Indien de natuurwinst zou zijn bepaald op een gebied groter dan de 3 km aan beide zijden van de Afsluitdijk, dan zouden de vispassages een – mogelijk substantieel – grotere winst opleveren. Een dergelijk tussenmeer is beoogd in het alternatief WaterMachine. Omdat bij dit alternatief het tussenmeer veelvuldig gebruikt moet worden voor het wegpompen van het zoete IJsselmeerwater, wordt de beoogde natuurkwaliteit niet bereikt. Mogelijk is de natuurwinst van een brak tussenmeer bij veelvuldig wegpompen van zoet water beperkt. De onderzochte tussenmeren hebben een 'relevant' tot 'beperkt/relevant' risico op significant negatieve natuureffecten in het kader van de Natuurbeschermingswet. Een tussenmeer reduceert de zoetwatervoorraad met enkele procenten. De welvaartseffecten van een dergelijke vermindering van de zoetwatervoorraad kunnen worden getypeerd als 'gering'.

Kwelders in de Waddenzee betekenen een behoorlijke verbetering van de natuurwaarde: een winst van zo'n 3.600 natuurlandpunten (twee- à driemaal de winst van een vispassage). Ondanks deze positieve natuureffecten is er een 'hoog' risico op significant negatieve natuureffecten in het kader van de Natuurbeschermingswet. Dit komt vanwege het verdwijnen van permanent overstromde zandbanken door de aanleg van de kwelders. De permanent overstromde zandbanken vallen onder (beschermde) Natura 2000-gebied. Op basis van een vergelijking van natuurlandpunten en kosten verdienen kleine kwelders (500 ha; 500 meter breed en 10 km lang) de voorkeur boven grotere kwelders. De contante waarde van de aanleg en onderhoud van kleine kwelders bedraagt 135 miljoen euro.

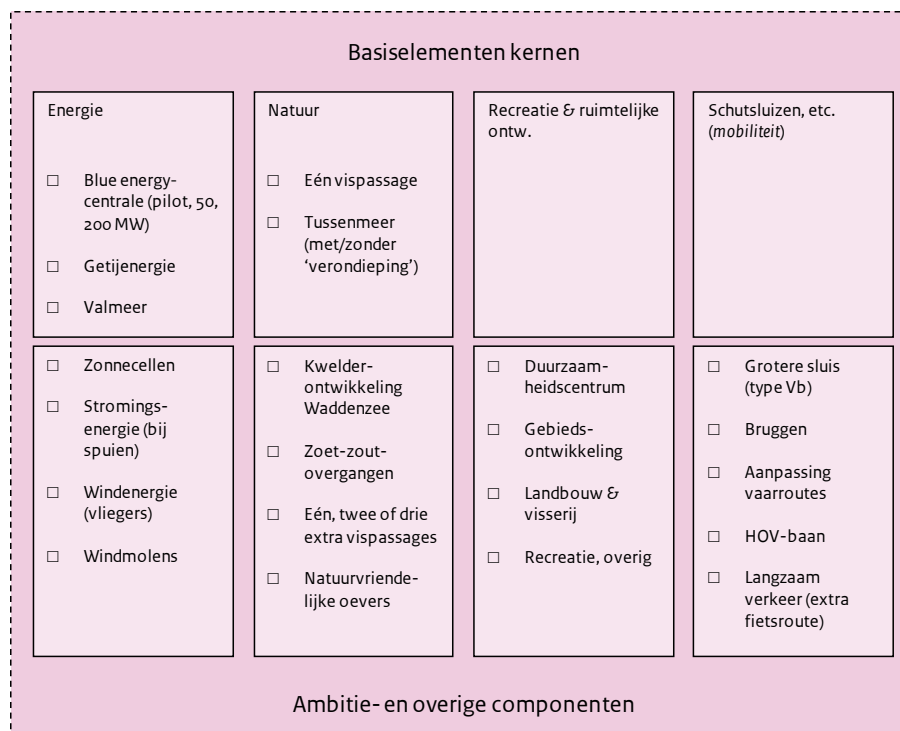
Natuurvriendelijke oevers in het IJsselmeer hebben een positief effect op de natuur. De kosten per 5 ha (50 meter breed, 1 km lang) zijn 1,9 miljoen euro (nominaal). Het is niet bekend of dit leidt tot een merkbare verbetering van de natuurwaarde en of er kans is op significant negatieve effecten in het kader van de Natuurbeschermingswet.

Duurzaamheidscentrum: lastig te exploiteren

Een duurzaamheidscentrum ('World Sustainability Centre' of 'Science Centre') op de Afsluitdijk is lastig te exploiteren. Zelfs als er wordt verondersteld dat er een commercieel geëxploiteerd hotel met 100 kamers in de nabijheid wordt gerealiseerd, dan nog worden de exploitatiekosten van 90 miljoen (contante waarde) maar voor zo'n 70% gedekt uit opbrengsten. Dit is nog zonder de contante investeringskosten van 50 miljoen euro.

Naast het duurzaamheidscentrum zijn er ten aanzien van recreatie en ruimtelijke ontwikkeling ideeën voor viskweek, zilte teelt, een vakantiepark en uitbreiding van de camping op Breezanddijk. Deze ideeën zijn te beperkt uitgewerkt om hiervoor de effecten te kunnen benoemen.

Figuur 5 Overige mogelijkheden: basiselementen, ambitie en overige componenten, in aanvulling op figuur 4



1 Introductie

1.1 Aanleiding onderzoek

Een toets in het kader van de Wet op de Waterkering wees in 2006 uit dat de Afsluitdijk in zijn huidige vorm niet voldoet aan de geldende norm die voorschrijft dat een waterkering waterstanden moet kunnen keren tot een bepaald peil. De kans op overschrijden van dit peil mag voor de Afsluitdijk in ieder jaar niet hoger zijn dan 1/10.000ste. Deze kans wordt ook wel de veiligheidsnorm genoemd. In het geval van de Afsluitdijk is deze veiligheidsnorm ontleend aan de hoogste veiligheidsnorm voor de waterkeringen in het achterland, die voor Noord-Holland.

Voor het onderzoek naar verbeteringsmogelijkheden heeft Rijkswaterstaat het projectteam *Toekomst Afsluitdijk* samengesteld. Dit projectteam bereidt de opstelling voor van een structuurvisie met daarin een voorkeursalternatief voor de verbetering van de Afsluitdijk. Voor deze structuurvisie worden een PlanMER en een kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) gemaakt. Het projectteam Toekomst Afsluitdijk heeft het CPB verzocht om deze KEA te maken. Tevens heeft DG Water, onderdeel van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, het CPB verzocht om een kosten-batenanalyse (KBA) te maken van de veiligheidsnorm van de Afsluitdijk en de achterliggende dijkringen die grenzen aan het IJsselmeer (en het Markermeer). In dit hoofdstuk zal eerst kort worden ingegaan op de relatie tussen beide activiteiten. Het vervolg van dit rapport richt zich uitsluitend op de kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) van de projectalternatieven voor het project Toekomst Afsluitdijk. Over de KBA van de veiligheidsnorm volgt een afzonderlijke rapportage.

1.2 KEA Afsluitdijk en KBA Norm Afsluitdijk

Norm 1/10.000ste per jaar uitgangspunt bij KostenEffectiviteitsAnalyse (KEA)

In het project Toekomst Afsluitdijk wordt uitgegaan van de in 2010 geldende wettelijke norm van een maximale overschrijdingskans van 1/10.000ste per jaar. Zes projectalternatieven voor de verbetering worden onderling vergeleken op hun welvaartseconomische effecten. Omdat bij het ontwerp van de projectalternatieven deze veiligheidsnorm uitgangspunt is, kan in dit verband beter worden gesproken van een kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) van verschillende ontwerpalternatieven van de Afsluitdijk, in plaats van een kosten-batenanalyse (KBA). Er is geen nulalternatief 'niets doen' zoals in een KBA gebruikelijk is; er bestaan alleen de projectalternatieven, die onderling worden vergeleken. We verwijzen daarom in het vervolg van dit rapport naar de 'KEA Afsluitdijk', wanneer het gaat om de onderlinge vergelijking van projectalternatieven bij de gegeven norm van 1/10.000ste per jaar.

De vraag die in een KEA niet, maar in een KBA wel aan de orde komt, is of de gekozen veiligheidsnorm van 1/10.000ste per jaar (welvaarts)optimaal is.¹ Deze norm is – voor zover ons bekend – niet afgeleid van een kosten-batenanalyse. Welke veiligheidsnorm voor de Afsluitdijk welvaartsoptimaal is, zal worden onderzocht in deelproject 2, kosten-batenanalyse (KBA) van de veiligheidsnorm van de Afsluitdijk (kortweg 'KBA Norm Afsluitdijk'). Ondanks deze naam zal dit project ook uitspraken doen over de optimale veiligheidsnorm van de dijkringen die zijn gelegen aan het IJsselmeer (en mogelijk het Markermeer). Het primaire doel van de Afsluitdijk is namelijk om samen met deze dijkringen het 'achterland' te beschermen.

Het zou inhoudelijk logisch zijn om deelproject 2 (KBA Norm Afsluitdijk) uit te voeren om de optimale veiligheidsnorm te bepalen, voordat er met behulp van een kosteneffectiviteitsanalyse wordt bepaald welk projectalternatief voor aanpassing van de Afsluitdijk het beste is opdat aan deze norm wordt voldaan. Ten behoeve van de politieke besluitvorming en de daarbij behorende korte doorlooptijd, is het echter noodzakelijk om direct met de KEA Afsluitdijk

¹ De veiligheidsnorm van de Afsluitdijk is in 2004 verhoogd van 1/1.430 per jaar naar 1/10.000 per jaar, zie par. 2.1.

te beginnen. Er zal daarom in ieder geval afzonderlijk over beide deelprojecten worden gerapporteerd, op verschillende tijdstippen.

Bepalen kosten en baten van veiligheid vereist een vernieuwende aanpak

Bij het (gedeeltelijk) loskoppelen van beide deelprojecten speelt mee dat het opstellen van de KBA van de veiligheidsnorm van de Afsluitdijk niet eenvoudig is. De eerdere ontwikkelde methoden (Eijgenraam, 2006 en Brekelmans et al, 2009) gaan namelijk uit van op zichzelf staande dijkringen die geen onderlinge afhankelijkheden kennen. Ook betreft het alleen situaties waarin een dijkkring een achterliggende (veelal bewoond) dijkkringgebied moet beschermen. Deze methoden zijn niet direct van toepassing op de Afsluitdijk, omdat dit een zogenaamde b-kering is die niet onmiddellijk een dijkkringgebied beschermt.² Daarnaast staat de Afsluitdijk niet op zichzelf, maar ligt er achter de Afsluitdijk het IJsselmeer waaraan a-keringen (lees: primaire dijkringen) liggen, die wel dijkkringgebieden omringen en elk zelf ook aan een scherpe veiligheidsnorm moeten voldoen, of zelfs opnieuw b-keringen. De kansen op falen van de achterliggende a- en b-keringen zijn dus afhankelijk van de faalkans van de Afsluitdijk. Het is daarom niet zonder meer logisch dat de meest efficiënte norm voor de Afsluitdijk bij benadering gelijk zou zijn aan de scherpste norm voor een a-kering in het achterland. Dit is wel de argumentatie geweest die heeft geleid tot de huidige wettelijke norm voor de Afsluitdijk. De norm van 1/10.000ste per jaar voor de Afsluitdijk is gebaseerd op de – even hoge – norm voor dijkkringgebied 13 in Noord-Holland (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, p. 67).

Het bepalen van de optimale Afsluitdijknorm is weliswaar gerelateerd aan de normering van een a-kering, maar is zowel hydraulisch als ook wiskundig complexer. Ook de benodigde gegevens (kosten dijkverhogingen en schadekans en -omvang bij een gegeven dijkhoogte) zijn omvangrijker en zijn mogelijk niet eenvoudig voorhanden. Een KBA Norm Afsluitdijk is echter van belang gelet op het tijdschema van *Waterveiligheid 21e eeuw* (WV21), het programma dat een actualisatie van het waterveiligheidsbeleid in Nederland behelst en waarin wordt gewerkt aan een besluit over nieuwe normering. Daarnaast zal de uiteindelijke fysieke aanpassing van de Afsluitdijk nog vele jaren³ vergen zodat inzichten uit de KBA Norm Afsluitdijk alsnog kunnen worden meegenomen. Het is waarschijnlijk dat de methodiek die voor de KBA Norm Afsluitdijk ontwikkeld dient te worden, breder van toepassing is in zowel Nederland⁴ als mogelijk ook in het buitenland.

Wanneer alle projectalternatieven voor de Afsluitdijk voldoen aan de gestelde norm van 1/10.000ste per jaar, is daarmee in beginsel de belangrijkste baat van alle projectalternatieven grotendeels hetzelfde. Sterker nog, om een goede onderlinge vergelijking mogelijk te maken is bij de vaststelling van de projectalternatieven als voorwaarde gesteld dat ze allemaal aan de norm dienen te voldoen tot aan het jaar 2100. De norm geldt dus als een minimumeis, terwijl projectalternatieven gedurende een deel van de periode tot 2100 juist meer veiligheid kunnen bieden. Deze verschillen dienen in de KEA Afsluitdijk als baten te worden gewaardeerd. Indien we dit goed kunnen, dan is de gehanteerde methodiek ook toepasbaar voor de KBA Norm Afsluitdijk (en vice versa). Beide vraagstukken kennen dus een zekere overlap, zeker ook waar het de verzameling van gegevens betreft. De aanpak is echter verschillend. Bij de KEA Afsluitdijk beperken we ons tot het waarderen van eventuele 'overveiligheid'. Deze methode wordt in de KBA Norm Afsluitdijk verfijnd.

² De dijken, duinen en kunstwerken zijn afhankelijk van hun ligging en functie ingedeeld in a-, b-, c- en d-keringen, zie paragraaf 2.1.

³ Het 'Projectbesluit' van Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (ESA) is bijvoorbeeld voorzien in 2012. De 'Oplevering' daarvan is gepland in 2017 (MIRT projectenboek 2011). Het lange termijn peilbesluit voor het IJsselmeer is voorzien in 2015. De besluitvorming ten aanzien van de actualisatie van het 'waterveiligheidsbeleid voor de 21e eeuw (WV21)', waaronder een herziening van de veiligheidsnormen, is voorzien in 2011 (principebesluit).

⁴ Een voorbeeld is de Oosterschelde die wordt afgesloten door de Oosterscheldekering.

1.3 KEA Afsluitdijk: Waterveiligheid op orde brengen en nog méér doen?

De Afsluitdijk vervult een aantal belangrijke functies. De meest belangrijke functie is ongetwijfeld het ‘afsluiten’ van de voormalige Zuiderzee. Deze functie behelst het bieden van *voldoende* veiligheid. Zoals hierboven uitgelegd, is ‘voldoende’ veilig in deze KEA vertaald naar de huidige wettelijke norm van 1/10.000ste per jaar. Daarnaast moeten kunstwerken (zoals de huidige spuisluizen) in de Afsluitdijk in staat zijn om het overtollige water in het IJsselmeer (en merendeels afkomstig van de rivier de IJssel) af te voeren naar de Waddenzee. Het IJsselmeer kent daarnaast ook een belangrijke functie als zoetwaterreservoir. Waterbeheer is daarom de tweede belangrijke functie van de Afsluitdijk.

Ten slotte heeft de Afsluitdijk een belangrijke functie op het gebied van mobiliteit. De Afsluitdijk dient in staat te zijn om de verkeerstromen van zowel vaartuigen (schutsluizen) als auto’s, vrachtwagens, openbaar vervoer (snelwegen) en fietsen (fietspaden) te verwerken, minimaal op een vergelijkbare manier als vandaag.

Naast deze drie functies van de Afsluitdijk kunnen er ook de ‘kwaliteiten’ worden toegekend aan de Afsluitdijk die worden aangeduid als ‘waarden’: de landschappelijke waarde, de cultuurhistorische waarde en de natuurwaarde.

Uitgangspunt bij de KEA Afsluitdijk is dat alle projectalternatieven minimaal in staat zijn bovengenoemde drie functies (waterveiligheid, waterbeheer en mobiliteit) te vervullen tot en met het jaar 2100.

Maar kan er niet méér gedaan worden met de Afsluitdijk? Zijn er innovatieve oplossingen mogelijk om, als grootschalig opknappen toch moet, de veiligheid en de andere functies op een zodanige manier te verbeteren dat er tevens meerwaarde ontstaat op andere terreinen? Natuur of recreatie, bijvoorbeeld, of het duurzaam opwekken van energie. Deze vragen van het kabinet waren onderwerp van een verkenning ‘Toekomst Afsluitdijk’ (Rijkswaterstaat et al., 2009). In deze verkenning hebben Rijkswaterstaat en de provincies Noord-Holland en Fryslân samen met marktpartijen, maatschappelijke organisaties en lokale overheden een zestal ‘visies’ geformuleerd waarin naast de noodzakelijke maatregelen ook vele aanvullende maatregelen (‘ambitiecomponenten’) zijn opgenomen.⁵ Deze zes ‘visies’ liggen ten grondslag aan de zes projectalternatieven die in deze KEA met elkaar worden vergeleken.

Aanpak onderzoek: kernen en componenten

Om een zuiver beeld te schetsen van de effecten van individuele maatregelen zijn de oorspronkelijke visies opgedeeld (en tevens aangepast) in ‘kernen’ – die voldoen aan de minimale eisen ten aanzien van de genoemde functies – en ‘ambitiecomponenten’. Om de goede van de minder goede onderdelen (lees: kernen of componenten) te scheiden worden de kernen en componenten apart geanalyseerd.

De kernen worden *onderling* vergeleken, gegeven de minimale functie-eisen, waardoor deze analyse een kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) behelst. De componenten, gegeven de keuze van één of meer kernen, worden vergeleken met de optie ‘de component niet uitvoeren’ of ‘niets doen’. De analyse van de componenten betreft daarom een kosten-batenanalyse (KBA) in de gebruikelijke betekenis van het woord. De onderverdeling in kernen en componenten biedt de mogelijkheid – mits technisch uitvoerbaar – om diverse componenten onder te brengen bij meerdere kernen. Hierdoor zijn alleen de kernen werkelijk onderscheidend en verwijst het begrip projectalternatief in dit rapport naar de kern van een oorspronkelijke visie.

⁵ In de zogenaamde ‘marktverkenning’ zijn vier ‘marktvisies’ geselecteerd, die vervolgens zijn aangevuld met twee ‘overheidsreferenties’ (zie Rijkswaterstaat et al., 2009). Alle zes ontwerpen uit deze fase van het project Toekomst Afsluitdijk worden in dit rapport aangeduid met ‘visie’.

De KBA's van de *facultatieve* componenten zijn door Decisio B.V. (Hoefsloot en De Pater, 2010) in opdracht van het projectteam Toekomst Afsluitdijk en onder begeleiding van het CPB uitgevoerd. Daarnaast heeft Decisio B.V. (Hoefsloot en De Pater, 2010) een analyse uitgevoerd van de basiselementen in de kernen die betrekking hebben op de duurzame opwekking van energie. Het CPB heeft deze resultaten gebruikt voor de betreffende kernen in dit rapport.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt beschreven welke functies de Afsluitdijk vervult en welke kwaliteiten de Afsluitdijk heeft opdat concreet gemaakt kan worden wat een 'adequaat functionerende Afsluitdijk' betekent. Daarna gaan we in hoofdstuk 3 in op de opzet van de analyse: welke aanpak wordt gevolgd en welke aannamen worden gemaakt. Hoofdstuk 4 beschrijft de projectalternatieven ('kernen') die in dit rapport centraal staan. Ook worden de 'componenten' beschreven waarmee deze kernen kunnen worden uitgebreid. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de welvaartseffecten van de kernen en geeft in het kort per effect de conclusies. In hoofdstuk 6 worden deze welvaartseffecten uitgebreid besproken en worden de conclusies uit hoofdstuk 5 onderbouwd. Hoofdstuk 7 beschrijft de belangrijkste conclusies uit de KBA's van de componenten. Hierbij wordt in het bijzonder aandacht besteed aan die componenten die bij besluitvorming over de 'kern' meegewogen zouden kunnen worden. De robuustheid van de uitkomsten worden tot slot in hoofdstuk 8 getest met gevoeligheidsanalyses. Ook worden er extra varianten nader beschouwd.

In de bijlagen wordt nadere informatie gegeven. In het bijzonder worden de berekeningen ten aanzien van de natuurwaarde (bijlage A), de waarde van flexibiliteit van de kernen voor de – onzekere – zeespiegelstijging (bijlage E) en de verwachte schade als gevolg van falen van de Afsluitdijk (veiligheid, bijlage H) besproken.

2 De huidige functies en kwaliteiten van de Afsluitdijk

Een overzicht van functies en kwaliteiten

De KEA Afsluitdijk richt zich op de welvaartsanalyse van zes projectalternatieven voor het adequaat laten functioneren van de Afsluitdijk tot het jaar 2100. In dit hoofdstuk wordt daarom beschreven welke functies de Afsluitdijk vervult en welke kwaliteiten de Afsluitdijk heeft opdat concreet gemaakt kan worden wat ‘adequaat functioneren’ betekent. Er worden in totaal drie functies onderscheiden:

1. Veiligheid,
2. Waterbeheer,
3. Mobiliteit.

Daarnaast heeft de Afsluitdijk een aantal kwaliteiten, of waarden:

4. Landschappelijke waarde,
5. Cultuurhistorische waarde,
6. Natuurwaarden.

Ook deze waarden vormen een onderdeel van de KEA Afsluitdijk.

2.1 Veiligheid

Omdat achter de Afsluitdijk zich geen land bevindt maar het IJsselmeer, kan de veiligheidsnorm van de Afsluitdijk niet los worden gezien van de veiligheid van de gebieden (dijkkringen) die grenzen aan het IJsselmeer (en het Markermeer). Zowel de Afsluitdijk als de achterliggende keringen worden gerekend tot de zogenaamde ‘primaire waterkeringen’. Een ‘primaire waterkering’ biedt beveiliging tegen overstroming vanuit buitenwater⁶ doordat deze een dijkkring omsluit, vóór een dijkkringgebied ligt, of twee dijkkringen met elkaar verbindt. Primaire waterkeringen worden ingedeeld in categorieën⁷ (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004).

De Afsluitdijk (een ‘b-kering’) beschermt in de eerste plaats het IJsselmeer tegen overstromingen vanuit de Waddenzee (Noordzee), waarna achterliggende dijken (‘a-keringen’) de omsloten dijkkringgebieden beschermen tegen overstroming vanuit het IJsselmeer.

⁶ In de Waterwet (Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 2009) is ‘buitenwater’ gedefinieerd als: ‘water van een oppervlaktewaterlichaam waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater [lees: van boven afkomend rivierwater] van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of het Markermeer, dan wel bij een combinatie daarvan’.

⁷ De dijken, duinen en kunstwerken zijn afhankelijk van hun ligging en functie ingedeeld naar de volgende categorieën: a-, b-, c- of d-keringen. Waterkeringen uit de categorie a (a-keringen) zijn dijken, duinen en kunstwerken die rechtstreeks bescherming bieden tegen de zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer. Waterkeringen uit de categorie b (b-keringen), zoals de Afsluitdijk of de Ramspolkering, verbinden waterkeringen uit de categorie a of uit categorie c. Waterkeringen uit de categorie c (c-keringen) zijn waterkeringen die indirect tegen buitenwater beschermen. Een voorbeeld hiervan zijn de waterkeringen langs het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal. Waterkeringen uit de categorie d (d-keringen) vallen onder de categorieën a t/m c maar liggen buiten de landsgrenzen. Het gaat hierbij vooral om rivierdijken langs de Rijn en Schelde die tot over de grenzen met Duitsland of België doorlopen. Naast de primaire waterkeringen zijn er secundaire keringen, zoals boezemkaden binnen primaire dijken en polderscheidingen.

In 2004 is veiligheidsnorm voor de Afsluitdijk vastgesteld op een maximale overschrijdingskans van 1/10.000ste per jaar.⁸ Dit betekent dat de Afsluitdijk waterstanden moet kunnen keren tot een peil waarvoor de kans dat deze in een jaar wordt overschreden, gelijk is aan 1 op 10.000. Deze norm is onderbouwd met de hoogste norm voor de achterliggende a-kering (Dijkkring 13, Noord-Holland; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004).

De huidige veiligheidsnormen zijn gebaseerd op adviezen van de Deltacommissie, waarvan het eindrapport is verschenen in 1960.⁹ De Afsluitdijk was toen al voltooid en had destijds een geschatte overschrijdingskans van 1/1.430. Dit werd door de Deltacommissie acceptabel geacht. Tijdens de eerste toetsronde over de periode 1996-2001 gold deze norm. Over de toestand van de Afsluitdijk is destijds overigens geen oordeel gegeven (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002, pp. 504-5).

In de tweede toetsronde, toen met de norm 1/10.000 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006), is de toestand van de Afsluitdijk als 'onvoldoende' beoordeeld. Het oordeel 'onvoldoende' houdt overigens niet alleen verband met de aanscherping van de norm. De erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud zijn als onvoldoende beoordeeld. Ook alle kunstwerken¹⁰ (twee spuisluizen en twee schutsluizen) zijn als onvoldoende beoordeeld: twee kunstwerken voldoen niet op hoogte, drie niet op onder andere stabiliteit van constructie en grondlichaam, en alle vier voldoen niet op sterkte van de constructieonderdelen en de betrouwbaarheid van de sluiting (ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006, p. 12). Als de Afsluitdijk faalt, kan de waterstand in het IJsselmeer met enkele decimeters stijgen. Na deze constatering heeft de beheerder een achterlandstudie uitgevoerd waarbij de gevolgen voor de primaire waterkeringen rond het IJsselmeer, die belast worden door deze hogere waterstanden, zijn onderzocht. De conclusie hiervan was dat deze bij falen van de Afsluitdijk niet aan de gestelde normen voldoen. De eindscore voor de Afsluitdijk is derhalve 'voldoet niet'.

2.2 Waterbeheer

De waterbeheerfunctie komt voort uit het feit dat de Afsluitdijk eigenlijk een dam is. Doordat het IJsselmeer is afgesloten van de Waddenzee, vormt het een zoetwaterreservoir dat wordt gevoed vanuit de rivieren: de Rijn via de IJssel, de Overijsselse Vecht, de Veluwe beken en de Eem. Daarnaast wordt water aangevoerd via de gemalen of uitwateringssluizen van inliggende en aangrenzende polders. Vanwege de constante toevoer van zoet water bestaat de noodzaak overtollig water te kunnen afvoeren van het IJsselmeer naar de Waddenzee. Aangezien er op de Waddenzee sprake is van getijwerking, kan spuien onder vrij verval alleen plaatsvinden wanneer er eb (laag water) heerst in de Waddenzee. Naar verwachting zal het, als gevolg van klimaatverandering en de continue stijging van de zeespiegel, in de toekomst steeds moeilijker worden om te spuien. Bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil zal het in de toekomst minder vaak voorkomen dat het water in de Waddenzee voldoende laag staat. Om de waterbeheerfunctie van de Afsluitdijk te blijven vervullen, moeten er dus mogelijk aanvullende maatregelen getroffen worden.

Een ander aspect van de waterbeheerfunctie dat verband houdt met de gevolgen van klimaatverandering, is de verwachte toename van extremen in het weer in Nederland (KNMI, 2006). Tegenover een toename van neerslag in de winter staan waarschijnlijk periodes van extreme droogte in de zomer. Het IJsselmeer krijgt in dat geval, als zoetwaterreservoir, nog duidelijker dan nu een strategische functie, omdat het meer Nederland op het gebied van watergebruik op het land voor een groot deel zelfvoorzienend kan maken. De gewenste omvang van de watervoorraad moet worden afgewogen tegen

⁸ In de Waterwet (Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 2009) is de verplichting voor de beheerder opgenomen eens in de zes jaar verslag uit te brengen over de toestand van de waterkering. De wettekst zelf bevat alleen veiligheidsnormen voor dijkkringgebieden. Voor de Afsluitdijk wordt de norm bepaald in de documenten ten behoeve van de rapportageverplichting (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004).

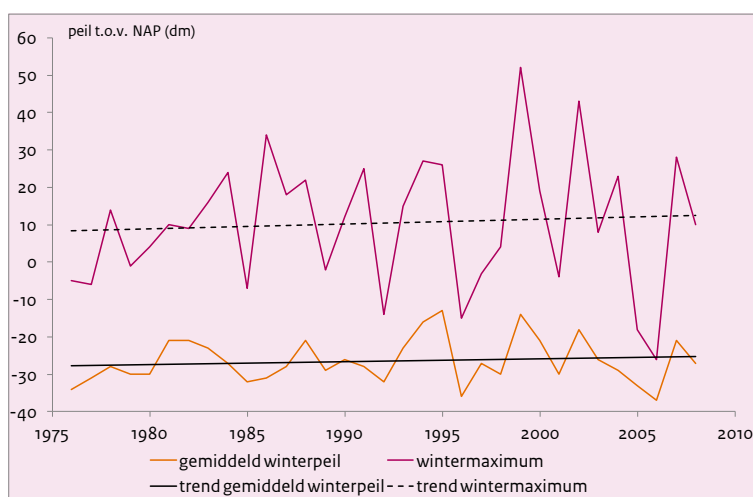
⁹ Een meer gedetailleerd overzicht van de achtergronden van de veiligheidsnormen kan worden gevonden in MNP en RIVM (2004).

¹⁰ Een kunstwerk in bouwkundige zin is een door mensenhanden gemaakt bouwwerk. In dit rapport wordt kunstwerk gebruikt voor het aanduiden van spuisluizen, schutsluizen en/of (pomp)gemalen.

andere belangen. De watervoorraad¹¹ kan bijvoorbeeld worden vergroot door het IJsselmeerpeil te verhogen. Een verhoogd IJsselmeerpeil veroorzaakt meerdere effecten, waaronder de waarschijnlijke noodzaak de dijken rond het IJsselmeer te verhogen om de veiligheid te waarborgen. Een verhoogd IJsselmeerpeil maakt het wel langer mogelijk om water te blijven spuien op de Waddenzee.

Indien het IJsselmeerpeil niet wordt verhoogd, zal er op den duur water gepompt moeten worden naar de Waddenzee. Pompen biedt een grotere flexibiliteit, aangezien het de waterafvoer uit het IJsselmeer onafhankelijk maakt van het peil in de Waddenzee. Hierdoor kan met pompen de watervoorraad in de zomer gemakkelijker worden vergroot. Daar staat echter tegenover dat een gemaal meer energie verbruikt, terwijl een spuicomplex alleen energie verbruikt bij het openen en sluiten van de sluisen. Echter, een peilverhoging van het IJsselmeer zal er voor zorgen dat het wegpompen van overtollig polderwater meer energie kost. Kortom, rond de keuze om overtollig IJsselmeerwater te ‘pompen’ dan wel te ‘spuien’ spelen meerdere aspecten een rol.

Figuur 2.1 Gemiddeld en maximum winterpeil van het IJsselmeer



Bron: Rijkswaterstaat, bewerkt door CPB.

De Afsluitdijk heeft twee sluiscomplexen: de Stevinssluisen bij Den Oever en de Lorentzsluisen bij Kornwerderzand. Deze complexen bevatten spuisluizen ten behoeve van de waterbeheerfunctie en schutsluisen om schepen te kunnen laten passeren. De huidige maximale capaciteit van alle spuisluizen samen is zo'n 5.000 m³ per seconde. Deze capaciteit hangt af van het verschil tussen de peilen in het IJsselmeer en de Waddenzee. Als meer realistische (lees: lager) maximum spui capaciteit wordt ook wel 3.000 à 3.500 m³ per seconde aangehouden voor beide spuicomplexen samen.

Het streefpeil van het IJsselmeer in de herfst en winter is –0,40 m NAP en –0,20 m NAP in het voorjaar en de zomer.¹² Door een tekort aan spui capaciteit is de waterstand van het IJsselmeer in de winter nu al structureel orde 20 cm¹³ hoger is

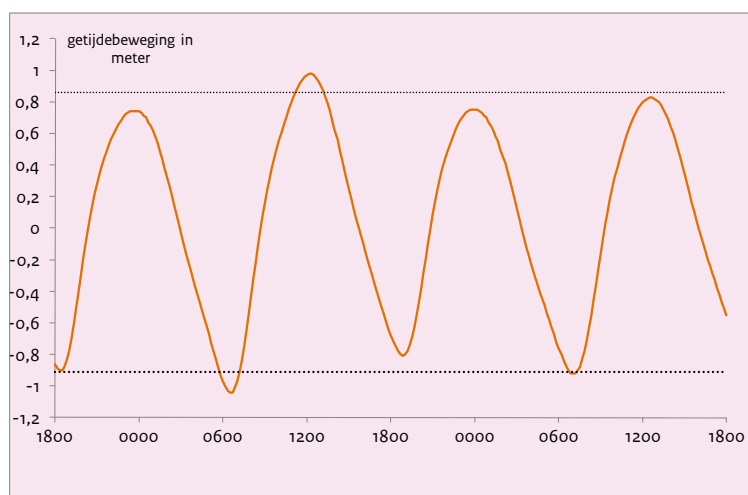
¹¹ Er lijken overigens mogelijkheden te bestaan om de vraag naar zoetwater te verminderen (bijv. flexibeler waterpeil van zoetwatervragende watergangen en het tegengaan van het binnendringen van zout water rond Rotterdam). De kosten daarvan zijn mogelijk lager dan een peilopzet op het IJsselmeer.

¹² Door te weinig mogelijkheden om te spuien onder vrij verval heeft het IJsselmeerpeil in 1998 in de winter enige weken te + 50 cm boven NAP gestaan, terwijl –40 cm het streefpeil is. Een dergelijk verschil van 90 cm is meer dan een decimeringshoogte, dat wil zeggen dat het de overstromingskansen langs het IJsselmeer met meer dan een factor tien verhoogt. Zie tevens Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al. (2010, p.12)

¹³ Rijkswaterstaat heeft mondeling aangegeven dat met name de (hoge) pieken in het winterpeil een probleem vormen.

dan het streefpeil (Faber, 2010 en Figuur 2.1). De gemiddelde spuidebieten 'via de Afsluitdijk'¹⁴ bedragen zo'n 300 à 400 m³/s in de zomer en zo'n 600 à 700 m³/s in de winter (Grontmij, 2010b). Het gemiddelde Waddenzeepeil is ongeveer gelijk aan NAP (zie Figuur 2.2). Bij vloed is het peil gemiddeld maximaal +0,9 m NAP (hoogtij). Bij eb is het peil minimaal zo'n -0,9 m NAP (laagtij). Het maximale verval bij een winterstreefpeil van -40 cm NAP in het IJsselmeer komt daarmee op 50 cm (zie ook Rijkswaterstaat, 2005a).¹⁵

Figuur 2.2 Getijbeweging bij Kornwerderzand bij gemiddelde getijcondities in 2009



Bron: Van Vossen et al. (2010, p. 46).

Uitleg: de 'rechte' stippellijnen geven de 'gemiddelde extreme' waterstanden bij eb en vloed weer. De oranje 'sinus'-achtige lijn geeft het verloop van het gemiddelde Waddenzeepeil weer (zonder golfloop).

Als gevolg van een stijging van de zeespiegel zal het volume aan overtollig water uit het IJsselmeer dat kan worden afgevoerd met de huidige capaciteit van twee sluizencomplexen afnemen. Daarnaast zal het watervolume in het Rijn- en Maasstroomgebied naar verwachting toenemen in de winter als gevolg van toenemende neerslag stroomopwaarts (PKB Ruimte voor de Rivier, 2007, p. 16). De IJssel krijgt, als zijtak van de Rijn, als gevolg hiervan meer water te verwerken. Op initiatief van Rijkswaterstaat is in 2005 een milieueffectrapportage (MER) opgesteld voor een derde spui-inrichting op de Afsluitdijk (Rijkswaterstaat, 2005a). Op basis van de MER is als locatie de knik ten westen van Kornwerderzand gekozen. In 2010 wordt in het kader van het project *Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk* (ESA) een InrichtingsMER opgesteld. Het project ESA hangt nauw samen met het project *Toekomst Afsluitdijk*.

Met ESA erbij verdubbelt de spuicapaciteit en kan ook tot een stijging van de zeespiegel met 25 cm nog voldoende water worden gespuid tijdens eb bij een gelijkblijvend peil in het IJsselmeer. In het KNMI-scenario W+ bedraagt de zeespiegelstijging in 2050 tussen de 20 en 35 cm ten opzichte van heden. Bij de maximale stijging onder het W+-scenario van de zeespiegel, en daarmee ook van de Waddenzee, zal het dus vanaf ongeveer het jaar 2035 niet meer mogelijk zijn het huidige peil in het IJsselmeer te handhaven met de voorziene spuicapaciteit (de huidige spuicapaciteit bij Den Oever en Kornwerderzand, aangevuld met ESA).

¹⁴ Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al. (2010) meldt dat de jaargemiddelde wateraanvoer naar het IJsselmeergebied 550 m³/s bedraagt. De IJssel is, met gemiddeld 70% van de wateraanvoer, veruit de grootste aanvoerbron. Via de spuisluizen in de Afsluitdijk wordt 475 m³/s (jaargemiddelde) afgevoerd naar de Waddenzee. De rest (jaargemiddelde 75 m³/s) wordt vooral in de zomer gebruikt voor de regionale watervoorziening en een deel verdampt.

¹⁵ Het werkelijke winterpeil in 2010 is gemiddeld NAP -0,255 m (Regeling 2010a, zie ook figuur 2.1), waardoor het maximale waterstandsverschil tussen IJsselmeer en Waddenzee veelal wat groter is dan de genoemde 50 cm. Er wordt overigens pas gespuid vanaf (en tot) een waterstandsverschil van minimaal 10 cm (Regeling, 2010a).

Figuur 2.3 Huidige situatie spuisluizen (10 stuks, links) en schutsluizen (2 stuks, midden-onder) Lorentzsluizen in Kornwerderzand



Bron: Grontmij (2010b).

Om een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid overtollig IJsselmeerwater die moet worden afgevoerd, wordt veelal in eerste instantie gekeken naar de verwachte hoeveelheid water die afkomstig is van de Rijn en via de IJssel naar het IJsselmeer gaat. Het maximale debiet dat met een kans van 1/1250ste per jaar door de Rijn bij Lobith Nederland binnenkomt (de zogenaamde maatgevende afvoer) is volgens het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007) $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de IJssel bedraagt in dat geval het maximale debiet $2.400 \text{ m}^3/\text{s}$. Onder het W+-scenario wordt uitgegaan van een debiet voor de Rijn in 2100 van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$, wat overeen zou komen met $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2009).

In deze KEA Afsluitdijk wordt aangenomen dat alle maatregelen in 2020 worden gerealiseerd. Van Rijkswaterstaat hebben wij begrepen dat er nu reeds (dus ruim voor 2020) behoefte is aan extra capaciteit voor waterafvoer. In de winterperiode lukt het een groot gedeelte van de tijd niet om het winterstreefpeil te handhaven (DHV&Arcadis, 2011, p.22). Het heeft nader onderzoek of op korte termijn actie nodig is en, zo ja, hoe dit het beste ingevuld kan worden. In Rijkswaterstaat et al. (2009, p.58) wordt er overigens nog niet gesproken over huidige tekorten. Daar wordt alleen gemeld dat de huidige spuien bij Den Oever en Kornwerderzand op termijn onvoldoende capaciteit hebben. Volgens het meest recente MIRT-projectenboek is de oplevering van ESA voorzien in 2017.

2.3 Mobiliteit

Dagelijks rijden ongeveer 19.000 voertuigen over de Afsluitdijk.¹⁶ Acht procent hiervan is vrachtverkeer. De verwachting is dat dit groeit naar zo'n 26.000 voertuigen per dag in 2040. Ondanks deze groei van het wegverkeer worden er geen knelpunten verwacht op de Afsluitdijk. Reistijdverliezen zullen daardoor alleen ontstaan door wachttijden voor openstaande bruggen. Scheepvaartsluizen (schutsluizen) bevinden zich bij zowel Den Oever (Stevinsluizen) als Kornwerderzand (Lorentzsluizen). Naast auto- en vrachtverkeer gaan er ook dagelijks bijna 900 reizigers met het OV over de Afsluitdijk (buslijn 350, 1 keer per uur, 17 uur per dag). De maximum snelheid op de Afsluitdijk in 2010 is 120 km/h. Door een recent kabinetsbesluit is die als experiment verhoogd naar 130 km/h. Bij de spuisluisen en de draaibruggen is de maximum snelheid 70 km/h.

De bruggen van de Lorentzsluizen worden ongeveer 7.000 keer per jaar geopend, bij de Stevinsluizen is dit 6.000 keer per jaar. De bruggen staan daarbij gemiddeld 6 tot 8 minuten open. Personen die voor een openstaande brug moeten wachten, worden verondersteld een vertraging van gemiddeld 4,5 minuten op te lopen (3,5 minuten gemiddelde wachttijd en een minuut extra voor het afremmen en weggrijden).

Beroepsvaart krijgt voorrang bij de sluispassages boven de recreatievaart. De bruggen gaan tijdens de spits niet open voor de recreatievaart, maar wel voor de beroepsvaart. In 2007 passeerden in totaal 36.400 schepen de Stevinsluizen (CEMT klasse Va) en 42.600 schepen de Lorentzsluizen (CEMT klasse Va, plus een kleine schutsluis). Ongeveer 90 procent van de schepen die de sluizen passeren, bestaat uit recreatievaart.¹⁷ Deze passages vinden bijna volledig plaats in de maanden mei tot en met september.

Op de tien drukste dagen van het jaar lopen de wachttijden voor de recreatievaart op tot 4 uur. Deze wachttijden hebben vooral te maken met de capaciteit van de sluizen. Elke cyclus die moet worden gewacht, betekent een wachttijd van 45 tot 60 minuten voor schepen. De extra wachttijd die door de brug ontstaat, wordt geschat op gemiddeld een kwartier per recreatievaartuig bij de Lorentzsluizen en ruim twintig minuten bij de Stevinsluizen (Hoefsloot en De Pater, 2010, bijlage 2).

2.4 Landschappelijke waarde

Het landschap rond de Afsluitdijk kan volgens het PlanMER (Grontmij, 2010b, p.8) worden getypeerd met woorden als rust, weidsheid, open horizon en natuurlijkheid, inclusief duisternis. De bijlage van het PlanMER (Grontmij, 2010b, bijlage C) typeert de Afsluitdijk en zijn directe omgeving landschappelijk onder andere als volgt:

- De Afsluitdijk kenmerkt zich als ranke rechte lijn door het water.
- De Afsluitdijk heeft een helder en eenduidig profiel.
- Het dijklichaam overheerst het beeld. De bouwwerken (kunstwerken) zijn daaraan ondergeschikt.
- De planmatige aanpak en architectonische/bouwkundige afstemming zorgen voor een sterke samenhang tussen dijk en de elementen. Het is een ensemble.
- Op de Afsluitdijk wordt het IJsselmeer over de gehele lengte beleefd. De Waddenzee wordt op een klein aantal punten beleefd.
- De Afsluitdijk ligt in open ruimte en is goed zichtbaar.

Het begrip landschappelijke waarde wordt daarmee primair 'visueel' geduid. Monumenten en natuur maken er deel van uit, maar deze worden afzonderlijk gewaardeerd.

¹⁶ Beschrijving gebaseerd op Hoefsloot en De Pater (2010).

¹⁷ Voor de recreatievaart is het belangrijk dat de sluizen en bruggen 'met staande mast' kunnen worden gepasseerd.

Naast bovenstaande landschappelijke waarde heeft de Afsluitdijk nog een gerelateerde functie. Een deel van het IJsselmeer dient – vooral vanwege de ‘open ruimte’ – als schietterrein. Op het midden van de Afsluitdijk, ter hoogte van Breezanddijk heeft Defensie een inrichting van waaruit het ballistische gedrag van munitie kan worden getest. De laatste jaren wordt er slechts enkele dagen in het jaar munitie getest vanaf Breezanddijk.

2.5 Cultuurhistorische waarde

De aanleg van Afsluitdijk in zijn oorspronkelijke vorm werd afgerond in 1932.¹⁸ Het eerste plan hiervoor was in 1891 gemaakt door dr. C. Lely. Al in 1671 was door Hendric Stevin een plan gemaakt voor het afsluiten van de Zuiderzee. Het besluit om de Afsluitdijk (en andere Zuiderzeewerken) aan te leggen is in 1918 genomen. Van grote invloed op dit besluit was de stormvloed van 1916 die voor overstromingen zorgde in de kustgebieden van de inham van de Zuiderzee. De dreiging van een herhaling daarvan en de mogelijke overstroming van Amsterdam vormden destijds de ‘sterke’ argumenten. Ook de vereenvoudiging van de verdediging van de kust (300 km korter) vormde een van de motieven.

Hoewel de Afsluitdijk wordt beschouwd als icoon en *landmark* (Rijkswaterstaat et al., 2009), is de dijk als geheel geen Rijksmonument. Enkele afzonderlijke onderdelen zijn dat wel. Het gaat ondermeer om de sluizencomplexen¹⁹ en het douanegebouw (ontwerp van Dirk Roosenburg), de grenspaal en het monument met uitzichttoren (ontwerp van Willem Dudok). Daarnaast staan alle militaire complexen (vooral kazematten; 17 rond Kornwerderzand en 10 rond Den Oever) op de lijst van Rijksmonumenten. Rijksmonumenten worden beschermd door de Monumentenwet. Het doorvoeren van wijzigingen aan deze monumenten is alleen toegestaan op basis van een vergunning.

Tot slot is Kornwerderzand ‘een beschermd dorpsgezicht en dient het in de vormgeving en inpassing onaangetast te blijven’ (Grontmij, 2010b, p.9).

2.6 Natuurwaarden

UNESCO's Werelderfgoedcomité (WHC) heeft in 2009 de Waddenzee uitgeroepen tot Werelderfgoed. Het gebied beslaat het Nederlandse en Duitse deel van de Waddenzee; bijna 10.000 vierkante kilometer langs een kuststrook van zo'n 400 kilometer. Met de plaatsing op UNESCO's Werelderfgoedlijst erkent het comité dat de Waddenzee universele waarde heeft en voor toekomstige generaties behouden moet blijven. De Waddenzee is wereldwijd het grootste natuurlijke systeem van zand- en slikplaten en laaggelegen, beschermende eilanden. Het gebied huisvest 10.000 soorten land- en waterdieren. Ieder jaar maken miljoenen trekvogels uit alle windstreken er een tussenstop. Daarnaast laat de Waddenzee zien hoe natuur, planten en dieren zich continu aanpassen aan de wisselende landschappen, in een gebied waar zoet en zout water elkaar ontmoeten. Er zijn geen verplichtingen als gevolg van de plaatsing op de lijst met Werelderfgoederen, anders dan uit behoud van de titel en de kwalificatie.

¹⁸ Beschrijving mede gebaseerd op Grontmij (2010b, Bijlage C).

¹⁹ met uitzondering van de schutsluis van de Stevinssluisen bij Den Oever. Zie voor een complete lijst van rijksmonumenten Grontmij, 2010b, Bijlage C.

Zowel de Waddenzee als het IJsselmeer zijn aangewezen als Natura 2000-gebied en vallen dus onder de zwaarste categorie van gebiedsbescherming voor natuur.²⁰ Het IJsselmeer is recent (op 16 februari 2010) aangewezen als Natura 2000-gebied en heeft momenteel, zeker in vergelijking met de Waddenzee, relatief lage natuurwaarden.²¹ De Grontmij heeft de natuurwaarde in kwantitatieve termen uitgedrukt met behulp van 'natuurwaardepunten' (Grontmij, 2010c). Een strook van 3 km langs de Afsluitdijk in de Waddenzee levert zo'n 9.000 'natuurpunten' op. Eenzelfde strook in het IJsselmeer levert zo'n 3.000 punten op: dus 30% van de 'Waddenzee-score'.

In de strook aan de Waddenkant is vooral het habitatype 'Permanent overstroomde zandbanken' van belang. Hiervoor geldt een behoudoelstelling voor oppervlakte en een verbeterdoelstelling voor kwaliteit. Het gehele strook aansluitend aan Waddenzijde van de dijk valt onder dit habitatype. Aan de IJsselmeerkant gaat het vooral om het foerageer- en rustgebied van vogels. Tevens vinden diverse beschermde soorten een leefplaats op en rond de dijk. Een uitgebreide beschrijving van de natuur op en rond de Afsluitdijk kan worden gevonden in Grontmij (2010b, bijlage D). De 'kernopgaven' en 'instandhoudingdoelen' zoals die in het aanwijzingsbesluit als Natura 2000-gebied zijn opgenomen voor de Waddenzee en het IJsselmeer, staan weergegeven in Grontmij (2010d, Tabellen 2.1 t/m 2.13, pp.10-15).

Ook wordt er op dit moment gewerkt, in het kader van het opstellen van de beheerplannen voor de Rijkswateren (Rijkswaterstaat, 2009), aan de implementatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW) van de Europese Unie. In deze richtlijn speelt voor het IJsselmeer de onnatuurlijkheid van de 'harde' zoet-zoutovergang als gevolg van de bouw van de Afsluitdijk een grote rol. Om aan een meer geleidelijke overgang nabij de Afsluitdijk tegemoet te komen worden door Rijkswaterstaat (2009) de bouw van vispassages, onder andere in ESA, als maatregel in het kader van de KRW genoemd. Hoewel in de KRW de nadruk ligt op waterkwaliteit, bestaat er via het effect van waterkwaliteit op het voedsel van bijvoorbeeld vogels een relatie met de Vogel- en Habitatrichtlijn.

²⁰ Om de Europese natuur te beschermen, hebben de lidstaten van de Europese Unie de Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992) aangenomen. De richtlijnen bieden een kader voor de lidstaten bij de bepaling van natuurgebieden die samen het Europees ecologisch netwerk Natura 2000 vormen. Voor Nederland is het Ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie (EL&I) verantwoordelijk voor de uitvoering van deze richtlijnen. Deze richtlijnen zijn voor de Nederlandse situatie vertaald en opgenomen in de op 1 oktober 2005 gewijzigde Natuurbeschermingswet 1998. Nederland kent verschillende soorten beschermde natuurgebieden. Om te beginnen alle planologisch beschermde (Nota Ruimte) gebieden van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Daarnaast zijn er gebieden die wettelijk beschermd worden onder de Natuurbeschermingswet 1998, zoals de oude natuurbeschermingswetgebieden (beschermde natuurmonumenten en staatsnatuurmonumenten). Daar komen de Vogelrichtlijn- en Habitatrichtlijngebieden bij. Vanwege de grote overlap (ruimtelijk en juridisch) worden deze twee laatstgenoemde gezamenlijk aangewezen als Natura 2000-gebieden. Ook de Natura 2000-gebieden en de grotere Ecologische Hoofdstructuur overlappen elkaar bijna geheel. Zie www.minlnv.nl/natura2000.

²¹ Beschrijving in deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op Grontmij, 2010a, p.18, 19, 20 en 54.

3 Opzet van de KEA: stapsgewijze analyse van 'kernen' en 'componenten'

3.1 Brede welvaartanalyse van kernen en componenten

Zoals al in paragraaf 1.3 kort is geschetst, liggen er nu 6 projectalternatieven op tafel die de kern omvatten van de verbetering van de Afsluitdijk. Daarnaast is er een lijst van ambitiecomponenten die met één of meer kernen gecombineerd kunnen worden.

De hoofdvragen in de KEA zijn:

- Welke van de 6 projectalternatieven, of kernen, is het beste om de Afsluitdijk weer te laten voldoen aan de minimale vereisten tot en met het jaar 2100?
- Welke van de ambitiecomponenten zijn een toevoeging aan de kern die maatschappelijk gezien de welvaart verhoogt?

Het voorliggende rapport heeft als doel de benodigde informatie aan te leveren opdat een goed onderbouwd antwoord kan worden gegeven op bovenstaande vragen. Hiertoe worden vanuit een welvaartseconomisch kader de zes verschillende kernen onderling vergeleken. Welvaart wordt daarbij ruim geïnterpreteerd: alle zaken die mensen van waarde achten. Dit betekent dat niet alleen financiële aspecten in kaart worden gebracht, maar bijvoorbeeld ook zaken als natuur en veiligheid. Daarbij is het streven om de welvaartseffecten zoveel als mogelijk in geld uit te drukken, om zo diverse positieve welvaartseffecten ('baten') en negatieve welvaartseffecten ('kosten') rechtstreeks met elkaar vergelijkbaar te maken.

Opdat een zuiver beeld wordt verkregen van de kosten en baten van de verschillende maatregelen, dienen de zes projecten te worden opgedeeld in zo klein mogelijke eenheden. De OEI-Leidraad (Eijgenraam et al., 2000, p.163) formuleert dit als volgt: een project is de *kleinst* mogelijke verzameling van onderling samenhangende investeringen die naar verwachting technisch uitvoerbaar en economisch haalbaar is. De onderverdeling in kernen en componenten is daardoor niet alleen zinvol om een onderscheid te maken tussen de waterveiligheid- en beheerfunctie enerzijds en ambities anderzijds, zij maakt het tevens mogelijk de onderlinge vergelijking op welvaartseconomische effecten in een KBA te systematiseren, conform de OEI-Leidraad.

In Rijkswaterstaat (2010, p.50) wordt gesteld: 'Alle alternatieven (lees: kernen) moeten ervoor zorgen dat de Afsluitdijk inclusief de kunstwerken weer tot het jaar 2100 kan functioneren.' De uitgangspunten bij het definiëren van kernen (en componenten) staan weergegeven in Figuur 3.1. Voorop staan de basisfunctionaliteiten voor waterveiligheid en -beheer. De kernen moeten tot het jaar 2100 de veiligheid rondom het IJsselmeer en het achterliggende gebied kunnen garanderen en de alternatieven moeten in staat zijn om het water vanuit het IJsselmeer voldoende effectief af te voeren om het gewenste peilniveau in het IJsselmeer te handhaven. Voor de andere basisfuncties en -kwaliteiten – mobiliteit, landschap, cultuurhistorische waarden en natuurwaarden – is het gewenst dat door de aanleg van de kern de functionaliteit hiervan niet al te veel achteruit gaat.

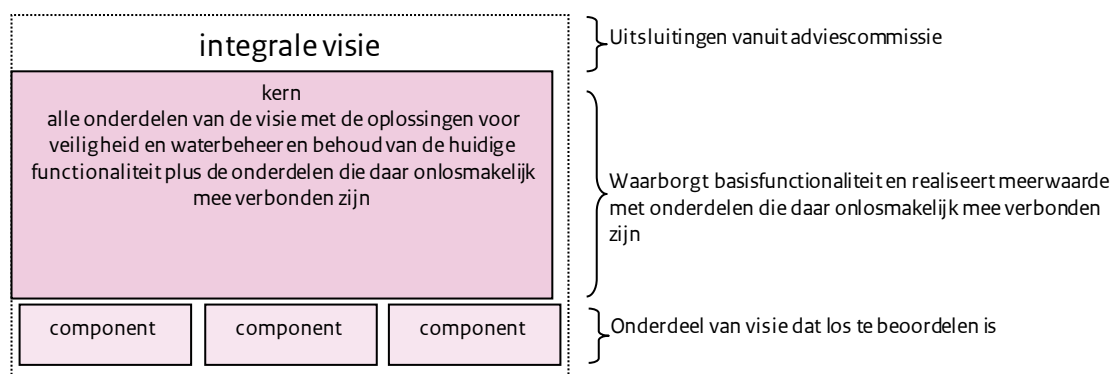
Hoewel de kernen op zich weer bestaan uit verschillende 'basiselementen', bijvoorbeeld het dijklichaam, spuisluizen en schutsluizen, is ervoor gekozen om de KEA uit te voeren op 'gehele kernen'. Op het niveau van de als voorbeeld genoemde basiselementen is er geen sprake meer van een project: Je moet alles verbeteren om de veiligheidsdoelstelling te halen.

Basiselementen met een energiefunctie, zoals een blue energy-centrale, voldoen slechts tot op zekere hoogte aan de definitie van een project. In de betreffende kernen spelen deze basiselementen echter ook een rol in de

waterbeheerfunctie en worden daarom beschouwd als onderdelen van de kernen. Wel wordt getracht zoveel als mogelijk gegevens en effecten uit te splitsen en toe te wijzen aan specifieke basiselementen.

Een belangrijk uitgangspunt is de Afsluitdijk te laten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1/10.000ste per jaar tot en met het jaar 2100. Deze norm wordt in dit rapport niet ter discussie gesteld, wat betekent dat de baten van deze norm niet (kunnen) worden onderzocht. Daarom is er geen sprake van een kosten-batenanalyse (KBA) in de gebruikelijke betekenis van het woord. Bij een 'echte' of 'gebruikelijke' KBA wordt een projectalternatief afgezet tegen een nulalternatief (géén project of 'do minimum'), terwijl we in de voorliggende analyse altijd uitgaan van een forse ingreep om de Afsluitdijk te laten voldoen aan de gestelde minimale eisen, waaronder de norm van 1/10.000. In dit geval wordt de analyse getypeerd als een kosteneffectiviteitsanalyse (KEA), waarin we de kernen *onderling* vergelijken (Ossokina en Eijgenraam, 2009). In een KEA wordt niet alleen naar de kostenverschillen gekeken. Net zoals bij een 'gebruikelijke' KBA dienen alle welvaartseffecten, positief en negatief, meegenomen te worden. Indien de geanalyseerde projectalternatieven echter niet verschillen op bepaalde effecten, dan hoeven deze effecten niet nader te worden onderzocht; het verschil is dan altijd 'gelijk aan nul'. Effecten waarvoor dit geldt, worden wel benoemd.

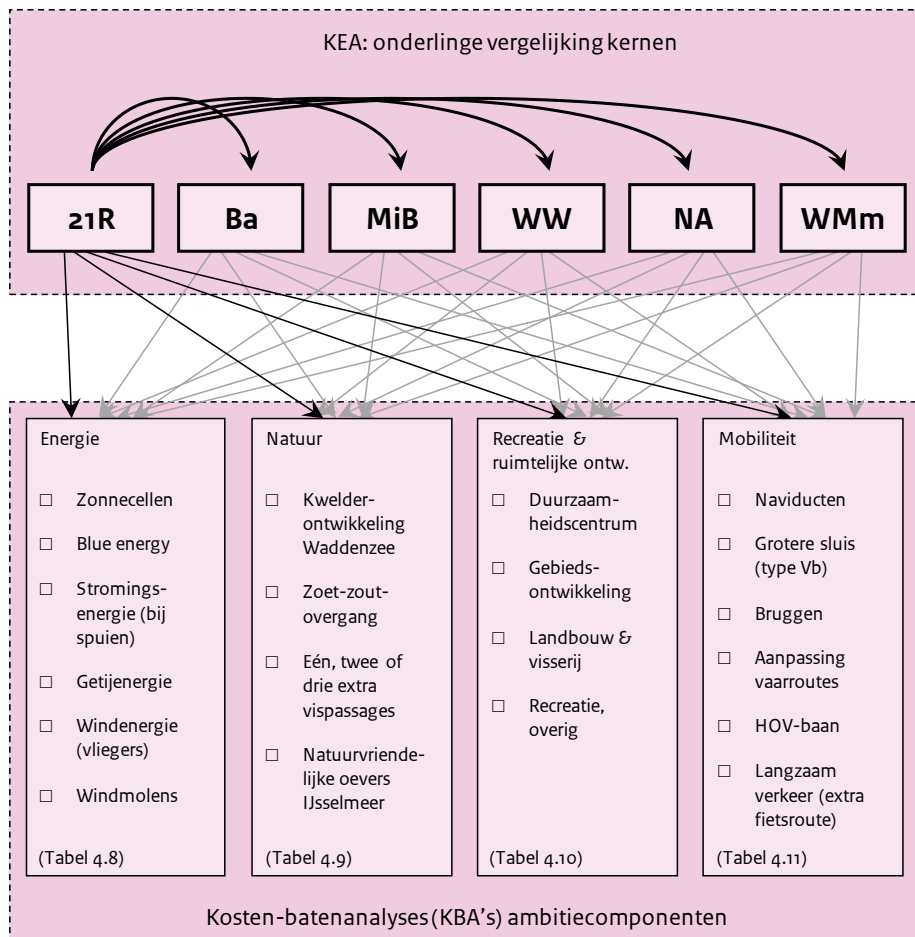
Figuur 3.1 Gehanteerde uitgangspunten bij het opdelen visie in kernen en componenten



Bron: Grontmij (2010a).

Voor de ambitiecomponenten wordt per component wel een KBA uitgevoerd. Kenmerk van de ambitiecomponenten is dat ze optioneel zijn, zodat er een logisch nulalternatief is: de ambitiecomponent niet realiseren. Daarnaast is het mogelijk dat er synergie-effecten optreden tussen de kernen en de componenten (en eventueel tussen componenten onderling). Onder synergie-effecten wordt verstaan de besparingen (positief) of méérkosten (negatief) bij het combineren van onderdelen. Voor zover hier sprake van is, zullen ze worden meegenomen en, omdat de component 'in een tweede stap wordt toegevoegd aan de kern', bij de componenten tot uitdrukking komen. De kernen en componenten worden omschreven in hoofdstuk 4.

Figuur 3.2 Stapsgewijze analyse; eerst 'KEA: onderlinge vergelijking kernen', vervolgens 'KBA's ambitiecomponenten'



Figuur 3.2 geeft de gevolgde stapsgewijze aanpak weer. Eerst zijn de kernen onderling met elkaar vergeleken, waarbij 2100-Robuust is gebruikt als referentiealternatief. Het resultaat daarvan wordt in dit rapport besproken. In de tweede stap zijn de kosten en baten van de afzonderlijke ambitiecomponenten geanalyseerd. Deze analyse is uitgevoerd door Decisio en is afzonderlijk gerapporteerd (Hoefsloot en De Pater, 2010). Hoofdstuk 7 vat de conclusies van de analyse naar de componenten samen.

Eén of meerdere ambitiecomponenten kunnen aan de kernen worden toegevoegd. Het aantal mogelijke combinaties is erg groot; eigenlijk te groot om te bespreken. Vrijwel alle componenten kunnen worden gecombineerd met alle kernen. In feite zijn de combinatiemogelijkheden nog groter: de kernen bestaan uit onderling uitwisselbare elementen en soms kunnen elementen uit een kern worden vervangen door een element dat nog niet in hoofdstuk 4 beschreven staat. Bij de bespreking van de effecten van de kernen zal aandacht worden besteed aan logische 'alternatieve of aanvullende' elementen om bepaalde negatieve effecten (gedeeltelijk) te kunnen vermijden.

Voor het vereenvoudigen van de politieke afweging is het van belang te kijken of er synergie-effecten bestaan tussen een component en de kernen. Indien er geen sprake is van synergie, kan de besluitvorming over de betreffende component losgekoppeld worden van de besluitvorming over de kernen. Dit vereenvoudigt de besluitvorming. Decisio gaat in haar rapport nader in op synergie-effecten. Er kan overigens ook sprake zijn van (negatieve en positieve) synergie tussen componenten onderling.

3.2 Uitgangspunten

In dit document wordt alleen gerefereerd aan de alternatieven zoals beschreven in hoofdstuk 4. Om deze kernen onderling vergelijkbaar te maken, zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Startjaar investeringen: afhankelijk van project tussen 2015 en 2020, afgestemd op gelijktijdige oplevering van alle elementen aan het begin van 2020.
- Eindjaar investeringen (oplevering): begin 2020 (oplevering aanvullende investeringen eventueel in 2050 of 2065).
- Eindjaar zichtperiode: 2100.
- Prijspeil: marktprijzen 2009 (lees: inclusief btw en de kosten voor Rijkswaterstaat).
- Nuljaar contante waardeberekeningen: 2015.
- Discontovoet: 5,5% (2,5% risicovrij + 3% algemene risico-opslag) voor alle project-effecten met als enige uitzondering de effecten van veiligheid. Daarvoor wordt een discontovoet gehanteerd van 4,7%. Zie bijlage D voor nadere uitleg.
- Zoals gebruikelijk bij omvangrijke projecten op het gebied van water (Eijgenraam 2005, p.30) wordt het meest 'robuuste' klimaatscenario (lees: met sterkste zeespiegelstijging) gebruikt: het W+-scenario van het KNMI (Klein Tank en Lenderink, 2009 en KNMI, 2006).²² Het W+-scenario behelst onder andere een stijging van de zeespiegel (ten opzichte van de huidige zeespiegel²³) aangegeven met een bandbreedte. In dit rapport wordt overal de bovenkant van deze bandbreedte gehanteerd ('W+-extreem'): 0,35m in 2050 en 0,85m in 2100. Dit is exclusief de effecten van bodemdaling.
- Als basisbeschrijving van de economische omgeving gaan we zoveel als mogelijk uit van het *Transatlantic Market* (TM) scenario (CPB, MNP en RPB, 2006). Dit omgevingsscenario heeft vooral betrekking op de schade bij overstroming en op de hoeveelheid verkeer.
- In dit rapport wordt een elektriciteitsprijs van 7,9 ct/kWh (incl. 19% btw, 6,6 ct/kWh excl. btw) aangehouden voor de periode van 2020-2100. Dit is in overeenstemming met de prijs zoals door Hoefsloot en De Pater (2010) is ontleend aan Daniëls en Van der Maas (2009). Voor een nadere toelichting zie bijlage B.
- In dit rapport wordt verondersteld – in afwijking van het *Transatlantic Market* scenario – dat ook na 2020 een emissieplafond en -handelsstelsel wordt overeengekomen. De CO₂-prijs, die afhankelijk is van de hoogte van dit plafond, wordt doorberekend in de elektriciteitsprijs, waardoor alle eventuele baten uit CO₂-reductie al zijn opgenomen in de prijs voor elektriciteit (zie bijlage B).
- Het project ESA (Extra Spuimiddel Afsluitdijk inclusief een vispassage) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010, p. 73) maakt deel uit van huidig, bestaand beleid met als doel de spuicapaciteit in de Afsluitdijk te vergroten. Het projectbesluit is voorzien in 2012 en de oplevering van het project is voorzien in 2017. In lijn met de bovengenoemde aannamen, wordt in dit rapport aangenomen dat ESA in 2020 wordt opgeleverd, tegelijk met alle andere onderdelen van de kern. In twee van de te onderzoeken kernen ('WaterMachine zonder ESA' en 'WaterMachine met ESA') wordt verondersteld dat ESA niet wordt gerealiseerd conform de huidige plannen.

In hoofdstuk 8 worden enkele gevoeligheidsanalyses uitgewerkt, waarin de afhankelijkheid van de resultaten van een aantal van de bovenstaande uitgangspunten systematisch wordt verkend.

²² Het gebruikte klimaatscenario heeft met name invloed op de eisen aan waterveiligheid en waterbeheer (stijging zeespiegel en aanvoer water vanaf de IJssel). Bij besluitvorming over grote, moeilijk aanpasbare projecten ("in beton gegoten"), zoals de Afsluitdijk, is het gebruikelijk om uit te gaan van het 'hoogste' scenario (Eijgenraam, 2005, p.30). Dit om dure 'aanpassingskosten naderhand' van de 'in beton gegoten projecten' zoveel als mogelijk te vermijden. Derhalve is het W+-scenario het relevante scenario.

²³ Zie voor nadere uitleg voetnoot 74 in par B.2 (Bijlage B).

3.3 Werkhypothese: handhaving huidig IJsselmeerpeil en dus extra pompen

Ook met de toevoeging van een derde, nieuw te bouwen spuisluis (ESA) naast de bestaande spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand, zijn er onvoldoende mogelijkheden voor het afvoeren van overtollig IJsselmeerwater naar de Waddenzee tot 2100. Rond 2035²⁴ zijn dan al additionele maatregelen nodig, gegeven het W+-scenario en bij handhaving van het huidige (streef)peil van het IJsselmeer.

Sterker, alle oorspronkelijk beschreven projectalternatieven (Grontmij, 2010a) bleken onvoldoende mogelijkheden te bieden voor waterbeheer tot en met het jaar 2100. Terwijl adequate mogelijkheden voor waterbeheer tot het jaar 2100 wél een uitgangspunt was bij het definiëren van de projectalternatieven. Daarnaast verschilden de kernen wel aanzienlijk in de mate waarin ze onvoldoende mogelijkheden hadden voor waterafvoer. Daarom wordt in deze paragraaf, ten behoeve van de KEA Afsluitdijk, een noodzakelijke *additionele* werkhypothese aan de bovenstaande uitgangspunten toegevoegd. Deze werkhypothese leidt tot aanpassingen aan de oorspronkelijke projectalternatieven. De werkhypothese is geformuleerd in nauw overleg met het projectteam Toekomst Afsluitdijk. Bijlage G geeft nadere informatie over de (keuze voor deze) werkhypothese.

Om de kernen aan de gestelde eisen voor waterbeheer te laten voldoen, zijn er binnen het W+-klimaatscenario aanvullende maatregelen noodzakelijk. Bij een stijgende zeespiegel zijn daarvoor op de lange termijn twee mogelijkheden: (i) het IJsselmeerpeil verhogen (waardoor het mogelijk blijft te blijven spuien onder vrij verval) of (ii) kiezen voor een gelijkblijvend IJsselmeerpeil, maar dan ontstaat de noodzaak om het water te pompen naar de Waddenzee. Uiteraard zijn combinaties van beide mogelijk, zeker in de eerstkomende jaren, zodat, zoals eerder al gezegd, nu nog meerdere alternatieven mogelijk zijn. Zo kan het uitbreiden van de spuicapaciteit op de kortere termijn een oplossing verschaffen bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil.

Om het probleem met het waterbeheer in deze KEA op te lossen is het handig om te kiezen voor maatregelen die overzichtelijke effecten hebben, niet extreem duur zijn en zo goed mogelijk aansluiten bij de reeds uitgevoerde onderzoeken die als input dienen voor de KEA Afsluitdijk, zoals het PlanMER, de Risicobeoordeling Natura 2000 en kostenramingen.

Op basis van deze wensen is gekozen om voor de KEA als *werkhypothese* uit te gaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil in combinatie met pompen als aanvullende maatregel. Dit leidt ertoe dat rond 2030 à 2035 – naast aanwezige spui-installaties – een pompcapaciteit geïnstalleerd dient te zijn van zo'n 800 à 1000 m³/s. Bij het W+-scenario is het rond 2060 amper²⁵ meer mogelijk om te spuien onder vrij verval omdat de zeespiegel dan te sterk is gestegen. In dit jaar dient er een totale pompcapaciteit geïnstalleerd te zijn van 2.000 m³/s²⁶ en wordt al het water uit het IJsselmeer naar de

²⁴ Dit jaartal volgt uit verschillende argumentaties. Allereerst is het huidige gemiddelde verval (Rijkswaterstaat, 2005a) bij spuien zo'n 50 cm. Bij de huidige spuicapaciteit (van alleen DO en Kwz) geeft dit onvoldoende mogelijkheden. ESA verdubbelt globaal de capaciteit. Indien de zeespiegel met 25 cm is gestegen, is het gemiddelde spuiensterk met de helft teruggelopen, waardoor er weer problemen ontstaan. Conform het W+ scenario is dit in 2035 het geval. Ook Jansen (2001) stelt dat ESA (plus DO en Kwz) voldoende capaciteit bieden tot een zeespiegelstijging met +25 cm. Volgens Uijtewaai et al. (2009) is er bij het W+-scenario in 2032 niet meer voldoende spuicapaciteit. Volgens projectgroep Waterveiligheid (2010, p.15) zijn aanvullende maatregelen al nodig bij een stijging van de Waddenzee met +0,20m; dit zou dus in het W+-scenario neerkomen op het jaar 2030.

²⁵ De zeespiegel is dan in het W+-scenario met 45 cm gestegen, waardoor het huidige gemiddelde verval van 50 cm (Rijkswaterstaat, 2005a) sterk is teruggelopen. Door getijwerking (laag tij) en/of een incidenteel hoog IJsselmeerpeil zal het waarschijnlijk nog steeds (incidenteel) mogelijk zijn te spuien.

²⁶ De genoemde 2.000 m³/s aan benodigde pompcapaciteit is afgeleid van de totale spuicapaciteit die ontstaat na de realisatie van ESA. De spuicomplexen DO, Kwz en ESA hebben een gezamenlijke capaciteit van zo'n 6.000 m³/s. Spuien kan alleen plaatsvinden bij voldoende laag water (vaak zo'n 8 uur per dag). Pompen kan plaatsvinden ongeacht het peil van het zeewater (dus 24 uur per dag). Daarom kan er per dag langer gepompt worden, waardoor de pompcapaciteit (fors) lager kan zijn. Een globale vuistregel om spuicapaciteit om te rekenen naar pompcapaciteit is delen door 3 (= 24 uur / 8 uur). Ook Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2010, p.29) noemt een benodigde pompcapaciteit van 1.500 à 2.000 m³/s.

Waddenzee gepompt. De oorspronkelijke beschrijving van de projectalternatieven wordt dus op deze manier aangevuld (zie hoofdstuk 4) en dat betekent dat er in verschillende mate pompcapaciteit wordt toegevoegd zodat ze op dit punt dezelfde prestatie kunnen leveren.

Met nadruk wordt gesteld dat de aanvullende maatregel ‘gelijkblijvend IJsselmeerpeil tot 2100 met aanvullend pompen’ een *werkhypothese* is om een bruikbare, consistente, en voor het beleid informatieve KEA Afsluitdijk te kunnen maken. Het is geen veronderstelde of aanbevolen beleidskeuze. De uiteindelijke beleidsafweging (tussen spuien, pompen of tussenvormen) zal niet in het project Toekomst Afsluitdijk worden gemaakt, maar in het Deltaprogramma en pas op een veel later tijdstip als de omstandigheden daartoe aanleiding geven. De afweging zal ook nog substantieel nader onderzoek vergen, zoals onder andere reeds is geïdentificeerd in het Deltaprogramma. Wel zal de KEA Afsluitdijk relevante informatie bevatten voor de uiteindelijke beleidsafweging.

Ook de genoemde pompcapaciteiten²⁷ en de bijbehorende jaartallen dienen nader onderzocht te worden. In dit rapport wordt aandacht besteed aan de mogelijke invloed van deze werkhypothese op de KEA-uitkomsten en welke onderzoeksvragen hieruit volgen.

²⁷ Mogelijk heeft pompen een ander effect op de vaargeulen in het IJsselmeer dan spuien. Dit kan eventueel leiden tot meer- of minderkosten voor het baggeren van de vaargeulen.

4 Beschrijving projectalternatieven

4.1 Inleiding

De kernen (projectalternatieven) waarop de KEA in dit rapport betrekking heeft zijn:²⁸

1. 2100-Robuust (21R, tevens referentiealternatief),
2. Basisalternatief (Ba),
3. Monument in Balans (MiB),
4. WaddenWerken (WW),
5. Natuurlijk Afsluitdijk (NA),
6. WaterMachine (WM);
 - a. WaterMachine zonder ESA (WMz),
 - b. WaterMachine met ESA (WMm).

Doordat een KEA een *verschillenanalyse* is, is het onvermijdelijk een alternatief als 'referentie' aan te wijzen. Door de vijf overige projectalternatieven te vergelijken met één referentiealternatief kan inzichtelijk worden gemaakt welke projectalternatieven een hoger en welke een lager saldo hebben. De keuze voor een bepaald referentiealternatief heeft geen gevolgen voor de uiteindelijke resultaten: in theorie kan elke kern als referentiealternatief worden gehanteerd. Er is – in een vroegtijdig stadium van de analyse – gekozen om 2100-Robuust te gebruiken als referentiealternatief omdat deze kern de strategie heeft om in één keer de Afsluitdijk weer op orde te brengen tot en met het jaar 2100. Ook bevat deze kern relatief eenvoudig te interpreteren basiselementen die uitsluitend zijn gericht op waterveiligheid en -beheer.

Van het projectalternatief WaterMachine bestaan twee varianten. Hoewel er dus zes hoofdvarianten bestaan, zijn er zeven verschillende kernen. De details van de kernen worden hieronder omschreven. In de omschrijving wordt een onderscheid gemaakt tussen de beschrijving van het hier onderzochte projectalternatief en de motivering zoals ontleend aan de oorspronkelijke visie.

4.2 Beschrijving van de kernen

4.2.1 2100-Robuust (21R)

Beschrijving

In 2100-Robuust (21R) worden zowel het dijklichaam als de kunstwerken zodanig verbeterd dat ze zonder tussentijdse aanpassingen tot aan het jaar 2100 kunnen voldoen aan de gestelde veiligheidsnorm.

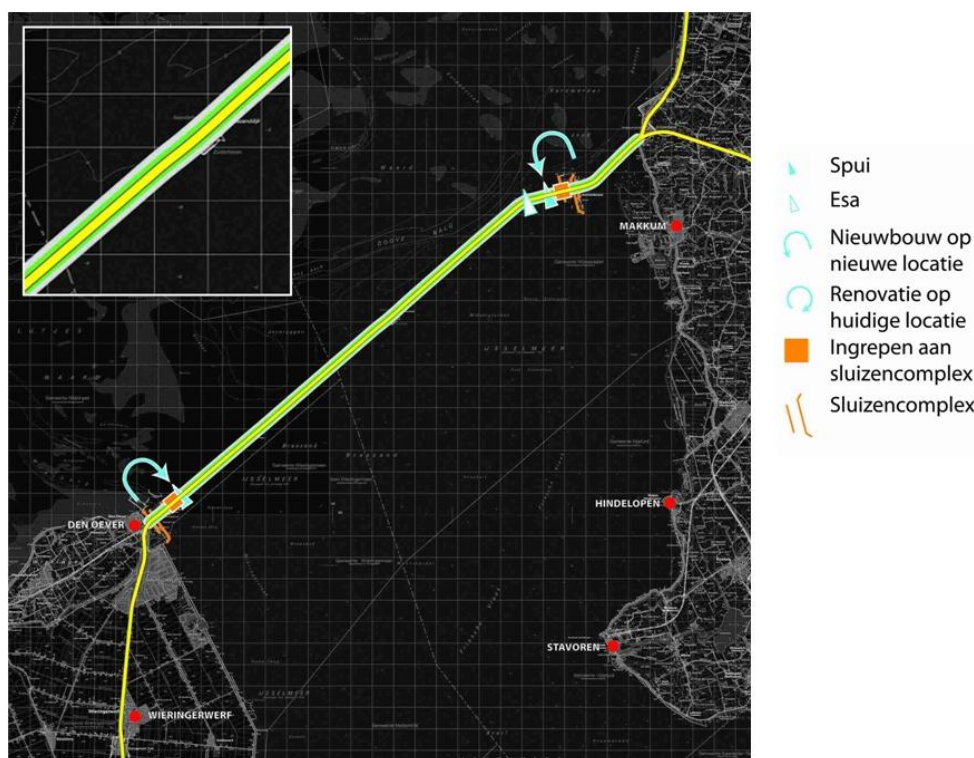
De kruin van de dijk wordt hiertoe verhoogd tot circa tien meter boven NAP. In combinatie met een bekleding van versterkt gras wordt de Afsluitdijk overslagbestendig gemaakt. Op een niveau van circa vijf meter boven NAP wordt aan de waddenkant een buitenberm aangelegd ten behoeve van inspectie en onderhoud. Dit onderhoudspad doet tevens dienst als fietspad.

²⁸ De namen van deze kernen zijn identiek aan die van de oorspronkelijke visies uit de marktverkenning 'Dijk en Meer' (Rijkswaterstaat et al., 2009). De gehanteerde definities van de kernen en basiselementen kunnen afwijken van wat beschreven staat in Grontmij (2010a, 2010b, 2010c, 2010d). De in dit hoofdstuk beschreven kernen zijn veelal gedetailleerder beschreven opdat helder is wat de kern exact inhoudt. De beschrijving is afgestemd met het projectteam Toekomst Afsluitdijk.

De dijk wordt circa dertig meter breder richting IJsselmeer en de snelweg wordt verschoven en verbreed. In 2100-Robuust worden de spuisluizen direct vernieuwd (nieuwe spuisluizen direct naast de huidige spuisluizen) en worden de beide schutsluiscomplexen vervangen door nieuwe.²⁹ Daarnaast wordt een derde spuisluis, in de vorm van ESA, gebouwd. Een onderdeel van ESA is een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Rond 2035 zijn er conform het W+-scenario aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Deze maatregelen waren oorspronkelijk niet opgenomen in de definitie van de kern. Conform de geformuleerde werkhypothese (zie paragraaf 3.3), wordt er bij deze kern in 2035 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 1.000 m³/s. In 2060 wordt er een aanvullend kunstwerk geïnstalleerd met eveneens een pompcapaciteit van 1.000 m³/s.

Figuur 4.1 2100-Robuust (21R)



Bron: Grontmij (2010a).

²⁹ De nieuw te bouwen sluis betreft een sluis met (geïntegreerde) kerende functie. Er wordt dus géén aparte keersluis gebouwd. In de kostennota (Rijkswaterstaat, 2010) wordt uitgegaan van een gefaseerde nieuwbouw, waarbij in 2020 eerst aan de Waddenzijde keersluizen vóór de huidige schutsluizen worden gebouwd. Dit biedt de mogelijkheid pas in een later stadium (rond 2030) de huidige schutsluizen te vervangen, waarbij deze lichter (zonder kerende functie) kunnen worden uitgevoerd. In de kern 2100-Robuust wordt uitgegaan van oplevering in 2020 van volledig functionerende nieuwe schutsluizen (met kerende functie); de welvaartseffecten van een gefaseerde nieuwbouw worden nader beschouwd in een gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 8).

Motivering

De verbreding vindt plaats aan de IJsselmeerkant om verschillende redenen. De bekleding aan de waddenkant is voor het grootste deel goed en hoeft dan niet te worden vervangen. De functie van de keileemkade³⁰ aan de wadkant kan behouden blijven. Eerder zijn al delen van de Afsluitdijk naar de IJsselmeerkant uitgebreid (bij Breezanddijk, en tussen Kornwerderzand en de Friese kust), waardoor er opnieuw een uniform profiel ontstaat. Bovendien bevindt zich de voorziene uitbreiding voor ESA ook aan de IJsselmeerkant en is de uitvoering daar eenvoudiger: minder golven, geen getij. Ten slotte, voorkomt uitbreiding aan de IJsselmeerkant effecten op de morfologie en de natuur van de Waddenzee, die gevoeliger is dan het watersysteem van het IJsselmeer.

Figuur 4.2 2100-Robuust (21R): illustratie doorsnede van verhoogd en verbreed dijklichaam



Bron: Rijkswaterstaat et al. (2009).

³⁰ Keileem is een mengsel van keien, grind, zand en leem dat tijdens de ijstijd van rond 200.000 jaar geleden is gevormd. In Nederland komt deze grondsoort vooral voor in Drenthe, maar ook in de Waddenzee. Het is slecht waterdoorlatend. Vanwege deze eigenschap is het geschikt voor de bouw van dijken. Voor de aanleg van de Afsluitdijk is keileem voor het eerst op grote schaal toegepast. Later is de buitenkant van de Afsluitdijk versterkt met een steenbekleding (Rijkswaterstaat, 2007).

Tabel 4.1 Kenmerkende dimensies en elementen kern 2100-Robuust (21R)

Basisprincipe veiligheid	Voldoende hoogte en breedte
Hoogte boven NAP	+ 10 m
Breedte	120 m (profiel met ca 30 meter verbreed)
Schutsluizen	Den Oever; nieuwbouw schutsluis
	Kornwerderzand; nieuwbouw schutsluis
Spuien: 2020-2035	ESA
	Nieuwbouw Den Oever oostelijk van huidige spui;
	Nieuwbouw Kornwerderzand westelijk van huidige spui
Spuien/pompen: >2035	Extra pompen in 2035 (1.000 m ³ /s) en 2060 (1.000 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken verbreed en verschoven richting IJsselmeer
Fietspad	Waddenkant
Aanvullende werken	Vispassage in ESA

4.2.2 Basisalternatief (Ba)

Beschrijving

Het Basisalternatief kan worden gezien als een ‘minimale variant’. De dijk wordt in deze variant overslagbestendig gemaakt met een steenachtig materiaal, maar in eerste instantie niet verhoogd. Het dwarsprofiel van het dijklichaam wordt beperkt aangepast; het binnentalud wordt – ten behoeve van de stabiliteit – iets flauwer gemaakt waardoor het fietspad niet op de huidige locatie kan worden gehandhaafd. Het profiel wordt iets verbreed aan de IJsselmeerzijde zodat er een fietspad aangelegd kan worden aan de IJsselmeerzijde van de rijksweg.

De huidige spui- en schutsluizen worden gerenoveerd en zodanig versterkt dat het Basisalternatief op het gebied van veiligheid tot 2050 zal blijven voldoen aan de huidige norm. De schutsluis bij Den Oever krijgt een nieuw buitenhoofd met keersluis aan de waddenkant om de veiligheid te garanderen. Daarnaast wordt een derde spuisluis, in de vorm van ESA, gebouwd. Een onderdeel van ESA is een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Na 2050 zijn aanvullende maatregelen aan zowel het dijklichaam als de kunstwerken (spui- en schutsluizen) nodig. De keuze is gemaakt om dan alsnog het alternatief 2100-Robuust aan te leggen, opdat een zuivere vergelijking mogelijk is met de andere kernen. In 2050 wordt daarom de dijk verhoogd en verbreed en de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand worden vernieuwd door nieuwe spuisluizen direct naast de huidige spuisluizen te plaatsten. De beide schutsluizen worden ook vervangen door nieuwe.

Op voorstel van Rijkswaterstaat is gekozen voor 2100-Robuust. Deze kern dient namelijk ook als referentiealternatief in de KEA, is daarnaast in technisch opzicht redelijk overzichtelijk en voldoet in ieder geval tot 2100 aan de gestelde eisen. Uiteraard is het mogelijk dat er in 2050 betere of goedkopere technische oplossingen³¹ voorhanden zijn. Een eerste verkenning op basis van de overige projectalternatieven is daarom opgenomen als gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 8.

Rond 2035 zijn er net als bij 2100-Robuust aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Hiertoe wordt in 2035 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 1.000m³/s. In 2060 wordt er een aanvullend kunstwerk geïnstalleerd met eveneens een pompcapaciteit van 1.000m³/s (zie werkhypothese in paragraaf 3.3).

³¹ Mogelijk is er rond 2050 inmiddels een beter materiaal ontwikkeld waarmee de dijk kan worden verstevigd, zodat voldaan wordt aan de norm tot 2100 door een verbeterde overslagbestendigheid. Anders dient er wellicht alsnog uitgeweken te worden naar bouwtechnische maatregelen, zoals de gekozen verhoging of andere oplossingen zoals het stormschild uit Monument in Balans. Het vervangen van de schutsluizen door nieuwe sluisen lijkt hoe dan ook nodig. Het vervangen van de spuisluizen hangt af van of men kiest voor ‘spuien’ dan wel ‘pompen’ (zie paragraaf 3.3 en de gevoeligheidsanalyses in hoofdstuk 8).

Figuur 4.3 Basisalternatief (Ba)



Bron: Grontmij (2010a).

Motivering

Basisalternatief vormt – op korte termijn – de goedkoopste optie om aan de eisen op het gebied van waterveiligheid en -beheer te voldoen. Overigens kan tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) het steenachtige materiaal (zie Figuur 4.4) worden bedekt met gras opdat de uitstraling van de dijk niet wezenlijk afwijkt van de huidige groene uitstraling.

Tabel 4.2 Kenmerkende dimensies en elementen kern Basisalternatief (Ba)

Basisprincipe veiligheid	Overslagbestendig, tot 2050
Hoogte boven NAP	+ 7,5 m
Breedte	95 m (profiel ca 5 m verbreed)
Schutsluizen	Den Oever en Kornwerderzand: renovatie, na 2050 nieuwbouw conform 21R
Spuien: 2020-2035	ESA
	Renovatie Den Oever en Kornwerderzand, na 2050 nieuwbouw conform 21R
Spuien/pompen: >2035	Extra pompen in 2035 (1.000 m ³ /s) en 2060 (1.000 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken op huidige locatie
Fietspad	Verplaatsing naar IJsselmeerkant
Aanvullende werken	Vispassage in ESA

Figuur 4.4 Basisalternatief (Ba): illustratie doorsnede en beeld van de overslagbestendige dijk



Bron: Rijkswaterstaat et al. (2009).

4.2.3 Monument in Balans (MiB)

Beschrijving

In het projectalternatief Monument in Balans wordt gekozen voor het plaatsen van een betonnen 'stormschild' over de gehele lengte op de huidige dijk. De autoweg blijft op de huidige locatie. Het fietspad komt op de kruin tegen de zuidzijde van het stormschild te liggen.

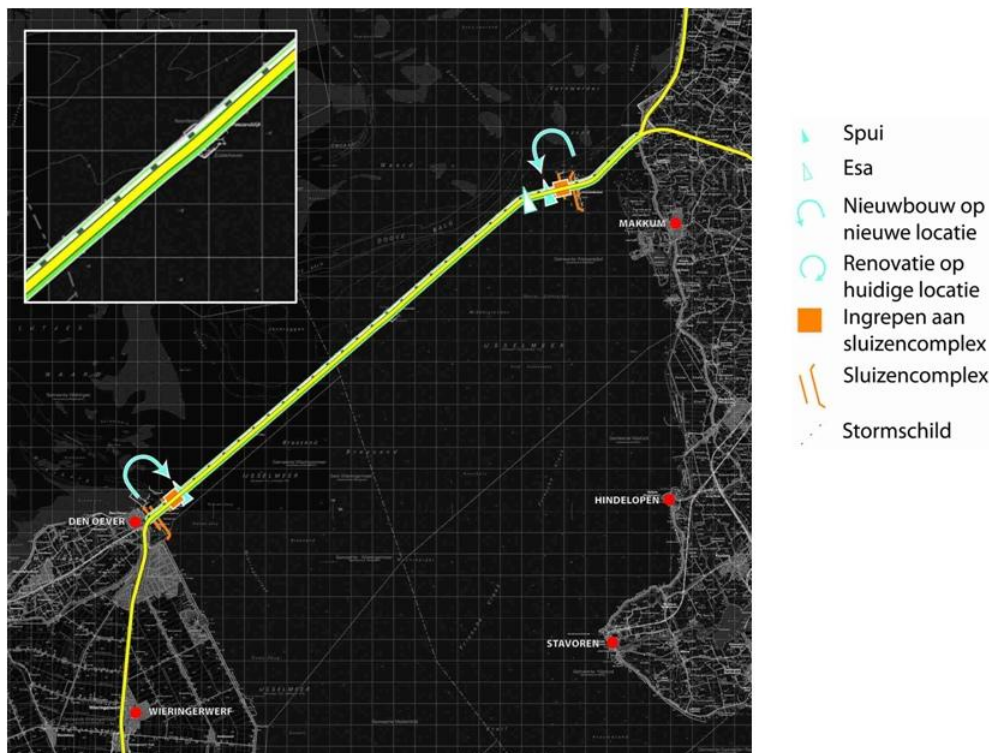
De kunstwerken uit de oorspronkelijke visie zijn benoemd als componenten. Om toch een kern te houden die volledig functioneel is, wordt voor de kern qua kunstwerken (schut- en spuisluizen, inclusief derde spuisluis ESA) uitgegaan van de maatregelen uit het alternatief 2100-Robuust. Een onderdeel van ESA is een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Tabel 4.3 Kenmerkende dimensies en elementen kern Monument in Balans (MiB)

Basisprincipe veiligheid	Stormschild
Hoogte boven NAP	Dijk + 8,4 m; schild + 9,6 m
Breedte	90 m
Schutsluizen	Den Oever; nieuwbouw schutsluis
	Kornwerderzand; nieuwbouw schutsluis
Spuien: 2020-2035	ESA
	Nieuwbouw Den Oever oostelijk van huidige spui;
	Nieuwbouw Kornwerderzand westelijk van huidige spui
Spuien/pompen: > 2035	Extra pompen in 2035 (1.000 m ³ /s) en 2060 (1.000 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken op huidige locatie
Fietspad	Kruin van de dijk, aan zuidkant van stormschild
Aanvullende werken	Vispassage in ESA

Rond 2035 zijn er net als bij 2100-Robuust aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Net als bij 2100-Robuust wordt in 2035 en 2060 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 1.000 m³/s (zie werkhypothese in paragraaf 3.3).

Figuur 4.5 Monument in Balans (MiB)

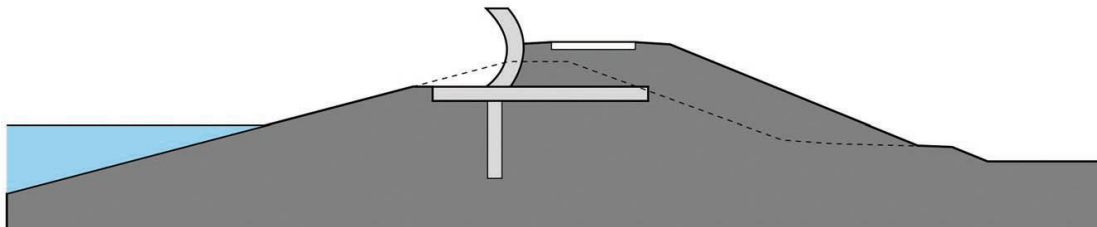


Bron: Grontmij (2010a).

Motivering

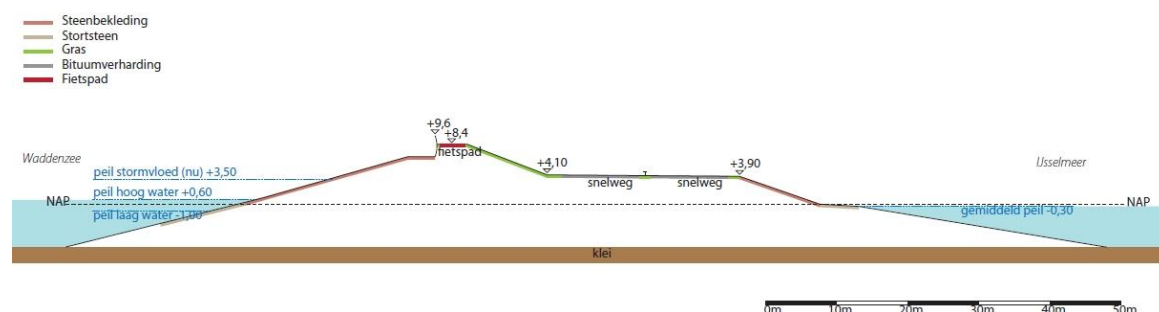
Monument in Balans zet in op soberheid vanuit de visie dat de Afsluitdijk zoveel mogelijk herkenbaar moet blijven. Door het fietspad te verplaatsen naar het stormschild houden fietsers zicht op het IJsselmeer en kunnen zij over het schild ook de Waddenzee zien.

Figuur 4.6 Monument in Balans (MiB): illustratie van het stormschild



Bron: Rijkswaterstaat et al. (2009).

Figuur 4.7 Monument in Balans (MiB): dwarsdoorsnede



Bron: Grontmij (2010a).

4.2.4 WaddenWerken (WW)

Beschrijving

In WaddenWerken wordt een zandnok aangelegd aan de Waddenzeekant van de Afsluitdijk. Er komt dus als het ware een dijk voor te liggen. Deze zandnok (in de oorspronkelijke visie ook wel kweldernok genoemd) wordt boven water afgedekt met klei en gras, waardoor een groen dijklichaam ontstaat. Indien in een later stadium de zandnok zou moeten worden opgehoogd, dan zal deze kleiafdekking waarschijnlijk eerst worden verwijderd, waarna zand kan worden opgespoten. Vervolgens moet de afdekkende laag weer worden aangebracht.

De huidige Afsluitdijk blijft vrijwel onveranderd en de IJsselmeerkant blijft onaangetast. Het benodigde zand voor de zandnok wordt op de bodem van het IJsselmeer gewonnen. Wel wordt het talud van de binnendijk – ten behoeve van de stabiliteit – iets flauwer gemaakt waardoor het fietspad niet op de huidige locatie kan worden gehandhaafd. De dijk blijft wel met gras bedekt. Als alternatief voor het oude fietspad komt er een buitendijks fietspad op de zandnok.

In de oorspronkelijke visie was het idee de Afsluitdijk met een areaal aan kwelders in de Waddenzee te verbreden, waarmee een kering zou ontstaan die mee zou moeten groeien met de zeespiegel. Nadere analyse van deze visie³² leerde dat de zandnok cruciaal is voor de veiligheid en dat de kwelders enkel een rol spelen in de waterkerende functie voor zover het bescherming tegen afkalving van de zandnok betreft. Als alternatief voor de kwelders is het verbreden van de zandnok ook afdoende.³³ In de kern is daarom een verbrede zandnok opgenomen. De oorspronkelijke kwelders worden beschouwd als component.

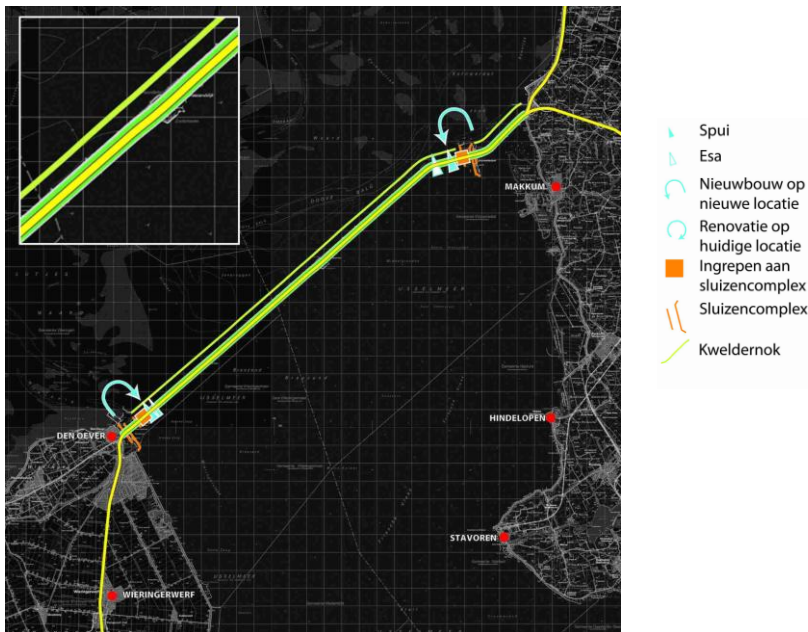
De kunstwerken uit de oorspronkelijke visie zijn opgenomen als componenten. Om toch een kern te houden die volledig functioneel is, wordt voor de kern qua kunstwerken (schut- en spuisluizen, inclusief derde spuisluis ESA) uitgegaan van de maatregelen uit het alternatief 2100-Robuust. Een onderdeel van ESA is een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Rond 2035 zijn er net als bij 2100-Robuust aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Hiertoe wordt in 2035 en 2060 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 1.000 m³/s (zie werkhypothese in paragraaf 3.3).

³² Van Prooijen et al. (2010).

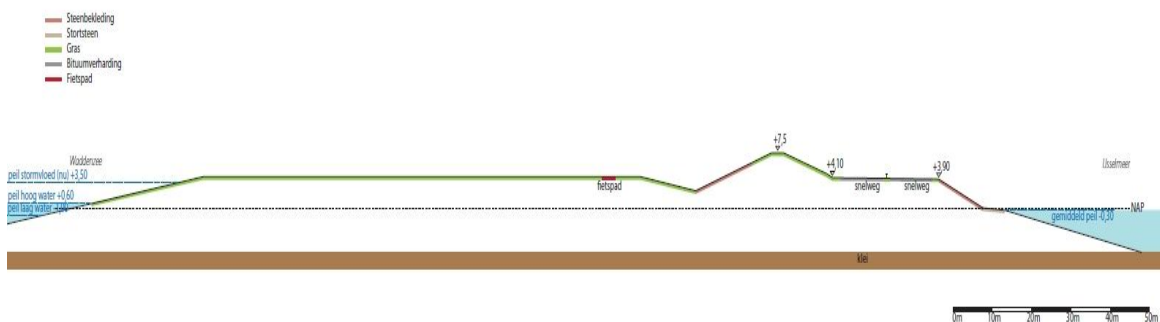
³³ Door Van Prooijen et al. (2010, p. 26) wordt opgemerkt dat voldoende breedte vooral van belang is in verband met afslag van zand bij een storm (naar verwachting 20 m per storm die eens in de 1.000 jaar voorkomt). Extra breedte is daarmee een vorm van 'preventief onderhoud' (p. 26). In de oorspronkelijke visie werd uitgegaan van 125 m. Bij de kern WaddenWerken is een breedte van 150 m gehanteerd.

Figuur 4.8 WaddenWerken (WW)



Bron: Grontmij (2010a).

Figuur 4.9 WaddenWerken (WW): doorsnede 'zandnok' en het 'oude' dijklichaam



Bron: Grontmij (2010a).

Motivering

Het uitgangspunt van WaddenWerken in de oorspronkelijke visie is dat er in de Waddenzee een tekort aan (vooral) jonge kwelders bestaat. In die oorspronkelijke visie wordt bij Den Oever de kwelder uitgebouwd met een korte luwtebank om een areaal voor een zoet-zoutovergang te ontwikkelen. Hier wordt het meest oostelijke spuimiddel van Den Oever gebruikt om een permanente zoetwaterstroom (als lokstroom en voor de gradiëntontwikkeling) in stand te houden. Het spuiregime wordt zodanig ingesteld dat de invloed van de zoetwaterbellen in de Waddenzee wordt beperkt. Dit wordt bereikt door de overmaat aan spuicapaciteit na realisatie van ESA gericht in te zetten door op de meest geschikte momenten (afgaand tij) zo kort mogelijk te spuien.

Door het benodigde zand voor de kwelders te winnen uit het IJsselmeer neemt de gevoeligheid van het IJsselmeer voor opwarming af. Daarnaast worden door het aanbrengen van lokale ondiepten luwe habitats voor de ontwikkeling van kranswiervelden³⁴ geschapen.

Tabel 4.4 Kenmerkende dimensies en elementen kern WaddenWerken (WW)

Basisprincipe veiligheid	Voldoende hoogte en breedte door zandnok; tuimeldijk verflauwd tot 1:3
Hoogte boven NAP	Dijk: +7,5 m
	Zandnok: +4,25 m
Breedte	Dijk: 90 m
	Zandnok: 150 m
Schutsluizen	Den Oever; nieuwbouw schutsluis
	Kornwerderzand; nieuwbouw schutsluis
Spuien: 2020-2035	ESA
	Nieuwbouw Den Oever oostelijk van huidige spui;
	Nieuwbouw Kornwerderzand westelijk van huidige spui
Spuien/pompen: > 2035	Extra pompen in 2035 (1.000 m ³ /s) en 2060 (1.000 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken op huidige locatie
Fietspad	Buitendijks op zandnok
Aanvullende werken	Zandnok, vispassage in ESA

Bovenstaande visie wordt uiteraard pas van toepassing op de kern van WaddenWerken indien die wordt uitgebreid met de component kwelders. Zonder die kwelders gaat het bij de kern uitsluitend om de aanleg van een zandnok vóór de Afsluitdijk.

4.2.5 Natuurlijk Afsluitdijk (NA)

Beschrijving

Het projectalternatief Natuurlijk Afsluitdijk (NA) voorziet in een versterking van de dijk door een gecombineerde toepassing van een buitenberm, binnenwaartse verlegging van de kruin, versterking van het binnenbeloop en verbreding van de dijk met gelijktijdige verlegging van de infrastructuur. De dijk zelf heeft daarmee een verschijningsvorm en een bekleding die in sterke mate vergelijkbaar zijn met het projectalternatief 2100-Robuust. Natuurlijk Afsluitdijk kent echter een iets andere maatvoering. Het fietspad kan zowel op de buitenberm aan de Waddenzeekant worden gerealiseerd als tussen de dijk en de snelweg, zoals ook in de huidige situatie het geval is. In de beschrijving (Grontmij, 2010a) wordt een fietspad aan de Waddenzeekant verondersteld.

In de oorspronkelijke visie zijn waterbeheer en energieopwekking geïntegreerd, waardoor in de kern van het projectalternatief deze elementen zijn gehandhaafd. Eén element is een 'zachte' zanddijk (een dijk met vooral zand en deels keileem; in de oorspronkelijke visie ook wel aangeduid als 'natuurdijk') in het IJsselmeer, waardoor een brak tussenmeer ontstaat direct aan de westzijde van ESA. Het brak tussenmeer wordt gevoed door de brakke uitlaat van een *blue energy*-centrale. In een *blue energy*-centrale wordt energie gewonnen uit het (chemisch) potentiaalverschil tussen zout en zoet water.³⁵ De *blue energy*-centrale neemt continu zout water in uit de Waddenzee en combineert dit met een continue stroom zoet water³⁶ uit het IJsselmeer. Na energiewinning, wordt het brakke mengsel geloosd in het

³⁴ Kranswieren zijn varenachtige waterplanten die worden beschouwd als voorouders van de huidige landplanten. Zij komen voor in ondiepe zoet en brak watermilieus. In de Veluwerandmeren worden kranswieren beschermd onder de Habitatrictlijn (Natura 2000).

³⁵ Voor een meer gedetailleerde beschrijving, zie Hoefsloot en De Pater, 2010.

³⁶ Bij de voorgestelde 200MW *blue energy* centrale wordt continu zo'n 200 m³/s zoet water vermengd met zo'n 200 m³/s zout water (Van Vossen et al., 2010).

Het brakke tussenmeer staat in open verbinding met de Waddenzee via een nieuw aangelegd 'doorlaatwerk', waardoor er getijwerking optreedt. Er wordt uitgegaan van een tussenmeer met enkele of meerdere aangelegde relatief ondiepe delen. Dit wordt wel aangeduid met een 'verondiept' tussenmeer. Verondieping is in beginsel gunstig voor natuurontwikkeling. Het verondiepte tussenmeer wordt gelijktijdig met de zanddijk aangelegd door middel van het opspuiten van zand.

De pompmogelijkheden die het Valmeer (200 m³/s via de nooddoorlaat) en de blue energy-centrale (zo'n 200 m³/s³⁸) bieden, vervangen de spui bij Kornwerderzand die buiten werking wordt gesteld. Voor deze kern is nieuwbouw van de overige kunstwerken (de spuisluis in Den Oever, beide schutsluizen en de nieuwe spuisluis ESA) zoals in 2100-Robuust voorzien. Een onderdeel van ESA is een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Rond 2035 zijn er conform het W+-scenario aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Conform de geformuleerde werkhypothese (zie paragraaf 3.3), wordt er bij deze kern in 2035 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 600 m³/s. Samen met de pompcapaciteit van het Valmeer (200 m³/s) en de blue energy-centrale (200 m³/s) bedraagt de totale capaciteit dan 1.000 m³/s. In 2060 wordt er een aanvullend kunstwerk geïnstalleerd met eveneens een pompcapaciteit van 1.000 m³/s.

Legend:

- Steenbekleding
- Stortsteen
- Gras
- Bituumverharding
- Fietspad

Waddenzeewater

peil stormvloed (nu) +3.50

peil hoog water +0.60

peil laag water -1.00

NAP

fietspad

+9.35

+4.10

snelweg

snelweg

+3.90

Usselmeerpolder

gemiddeld peil -0.30

NAP

klei

0m 10m 20m 30m 40m 50m

³⁷ Met een pompaccumulatiecentrale kan energie (elektriciteit) tijdelijk worden opgeslagen in de vorm van water. Door water eerst langs turbines te leiden en af te voeren naar een bassin kan elektriciteit worden opgewekt. Wegpompen van het water kost energie, maar door het afvoeren/wegpompen af te stemmen op periodes van een overschot/tekort aan geproduceerde energie, kan er in theorie toch een positief financieel rendement ontstaan. In het projectalternatief *Natuurlijk Afsluitdijk* is het bassin vormgegeven als een diepe, gegraven put (dijk op +5m NAP; diepte -15m NAP; diameter 3 km)

55

Figuur 4.11 Natuurlijk Afsluitdijk (NA)



Bron: Grontmij (2010a).

Tabel 4.5 Kenmerkende dimensies en elementen kern Natuurlijk Afsluitdijk (NA)

Basisprincipe veiligheid	Verhoging en verbreding
Hoogte boven NAP	+9,35 m
Breedte	120 m (profiel met ca 30 meter verbreed)
Schutsluizen	Den Oever; nieuwbouw schutsluis Kornwerderzand; nieuwbouw schutsluis
Spuien en pompen	ESA Nieuwbouw Den Oever oostelijk van huidige spui; Pompen via Valmeer (200 m ³ /s) / BE-centrale (200 m ³ /s) Aanleg nieuw doorlaatwerk Waddenzee - tussenmeer Spui Kornwerderzand buiten bedrijf
Spuien/pompen: > 2035	Extra pompen in 2035 (600 m ³ /s) en 2060 (1.000 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken verbreed en verschoven richting IJsselmeer
Fietspad	Waddenkant
Aanvullende werken	Valmeer (met nooddoorlaat met IJsselmeer) met 'verondiept' tussenmeer Zanddijk Blue energy-centrale op eiland Vispassage in ESA

Figuur 4.12 Natuurlijk Afsluitdijk (NA): spuiregime



Bron: Grontmij (2010a).

Motivering

Uitgangspunt in de oorspronkelijke visie vormt de integratie van de verschillende functies. De blue energy-centrale maakt niet alleen gebruik van de zoet-zoutovergang voor de opwekking van energie, maar zorgt tevens voor de afvoer van overtollig IJsselmeerwater. Bovendien kan IJsselmeerwater worden afgevoerd via het Valmeer, indien dit nodig is. Omdat het tussenmeer rond het Valmeer in verbinding staat met de Waddenzee, is het mogelijk met een juiste schakeling tussen spuien en pompen via het Valmeer 24 uur per dag overtollig water uit het IJsselmeer af te voeren, zonder afhankelijk te zijn van het getij. Ten slotte wordt het zand dat wordt gewonnen bij de aanleg van het Valmeer gebruikt voor het verbreden van de dijk.

4.2.6 WaterMachine (WM)

Beschrijving

In het alternatief WaterMachine wordt het dijklichaam over een afstand van 25 kilometer overslagbestendig gemaakt met een bekleding van asphalt of steen en iets verhoogd (+0,85m). Met de huidige materialen voldoet dit tot 2065 bij het W+-scenario. In verband met stabiliteit wordt het binnentalud iets verflauwd. Als gevolg hiervan wordt het fietspad verplaatst naar de IJsselmeerszijde en wordt daar het profiel met 8 meter verbreed. De overige 5 kilometer, ten oosten van Kornwerderzand, wordt verhoogd.

Evenals in Natuurlijk Afsluitdijk zijn in de oorspronkelijke visie waterbeheer en energieopwekking geïntegreerd, waardoor in de kern van het projectalternatief WaterMachine enkele aanvullende elementen zijn gehandhaafd. In het oostelijk deel van het IJsselmeer (oostelijk van Breezanddijk) wordt een zanddam aangelegd, waardoor een tussenmeer ontstaat. In dit tussenmeer heerst getijwerking omdat het, via een getijcentrale, in verbinding staat met de Waddenzee. In de zanddam bevindt zich een vispassage zodat vissen via het tussenmeer kunnen migreren tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Er wordt uitgegaan van een tussenmeer met enkele of meerdere aangelegde relatief ondiepe delen. Dit wordt wel aangeduid met een ‘verondiept’ tussenmeer. Verondieping is in beginsel gunstig voor natuurontwikkeling. Het verondiepte tussenmeer wordt gelijktijdig met de zanddam aangelegd door middel van het opspuiten van zand.

Er bestaan van dit projectalternatief twee varianten: zonder en met ESA:

- a. In de variant zonder ESA (WMz) wordt het spuicomplex Kornwerderzand gerenoveerd en omgebouwd tot een getijcentrale waarin de turbines tevens kunnen werken als pomp (capaciteit van 800 m³/s), waardoor het complex ook dienst kan doen als gemaal. De pompen worden aangebracht in de openingen van de spuiokers. Het gemaal levert extra flexibiliteit voor de waterhuishouding op. In normale situaties wordt het overtollige water uit het IJsselmeer gespuid via Den Oever en is de getijcentrale ‘aangesloten’ op het tussenmeer. De pompen werken dan als turbines en wekken getijenergie op. Wanneer er extra IJsselmeerwater moet worden afgevoerd, treden de pompen in werking en functioneert de getijcentrale als gemaal. In overeenstemming met Basisalternatief, wordt verondersteld dat renovatie van de spuisluis bij Kornwerderzand een oplossing biedt tot 2050. Na 2050 is nieuwbouw van het complex (als getijcentrale/gemaal) noodzakelijk.

Uit nader onderzoek (zie paragraaf 6.1) blijkt dat het ombouwen van spui Kornwerderzand tot pompturbine/gemaal technisch niet mogelijk is. Daarom vervalt deze variant van WaterMachine. In dit rapport wordt daarom – behalve in de genoemde paragraaf – geen aandacht meer besteed aan WaterMachine zonder ESA.

- b. In de variant met ESA (WMm) wordt de spuivoorziening bij Kornwerderzand buiten gebruik gesteld en wordt ESA niet als spuivoorziening gebouwd, maar als getijcentrale met pompturbines (‘pomp-turbinevoorziening Afsluitdijk’, PTA, met een capaciteit van 900 m³/s), waardoor het complex ook dienst kan doen als gemaal. De ligging van de zanddam verschuift enigszins naar het westen ten opzichte van WMz (in het verlengde van ESA/PTA). De zanddam blijft wel oostelijk van Breezanddijk. In het vervolg van dit rapport wordt de variant WaterMachine met ESA kortweg aangeduid als WaterMachine.

In een situatie van extreme rivierafvoer wordt het gemaal aangesloten op het IJsselmeer, door kleppen open te zetten in een aan te leggen dam die de Afsluitdijk verbindt met de zanddam (nooddoorlaat, met een maximale capaciteit van 900 m³/s). De pompen kunnen dan worden gebruikt om overtollig IJsselmeerwater af te voeren. Door de mogelijkheid tot pompen kan zoet water gemakkelijker worden afgevoerd bij extreme rivierafvoer.

Voor deze kern is nieuwbouw van de overige kunstwerken (de spuisluis in Den Oever en beide schutsluizen) zoals in 2100-Robuust voorzien.

Figuur 4.13 Bovenaanzicht van kern WaterMachine zonder ESA



Bron: WaterMachine.

De oorspronkelijke visie omvatte een peilverhoging van het IJsselmeer met 0,25 meter (t.b.v. spuien en de zoetwatervoorraad). Deze verhoging is niet in de kernen WMz/m opgenomen, maar is als component benoemd.

Na 2065 zijn aanvullende maatregelen aan het dijklichaam nodig. Vergelijkbaar met de keuze bij Basisalternatief wordt in 2065 alsnog het dijklichaam van 2100-Robuust aangelegd, om deze kern tot het jaar 2100 te laten voldoen aan de veiligheidsnorm van 1/10.000ste bij het W+-scenario. In 2065 wordt daarom de dijk verhoogd en verbreed.

Op voorstel van Rijkswaterstaat is gekozen voor 2100-Robuust als referentie voor de aanvullende maatregelen. Deze kern dient namelijk ook als referentiealternatief in de KEA, is daarnaast in technisch opzicht redelijk overzichtelijk en voldoet in ieder geval tot 2100 aan de gestelde eisen. Uiteraard is het mogelijk dat er in 2065 betere of goedkopere technische oplossingen voorhanden zijn.

Aangezien WaterMachine een pompcapaciteit heeft van 900 m³/s, zijn er conform de geformuleerde werkhypothese (zie paragraaf 3.3) rond 2060 bij het W+-scenario aanvullende maatregelen noodzakelijk voor het afvoeren van het zoete IJssel(meer)water. Bij deze kern wordt in 2060 een nieuw kunstwerk geïnstalleerd in de Afsluitdijk met een pompcapaciteit van 1.100 m³/s. Samen met de aanwezige pompcapaciteit (zo'n 900 m³/s, bij WMm) is er dan vanaf 2060 een totale capaciteit dan 2.000 m³/s.

WaterMachine, als kern, heeft als spuicapaciteit alleen Den Oever. Minder dan de huidige spuicapaciteit en veel minder dan bijvoorbeeld de kern 2100-Robuust. Hierdoor zal de afvoer via de pompmogelijkheden (en dus het tussenmeer) direct nodig zijn en zal er vanaf 2020 waarschijnlijk minimaal eens per week moeten worden gepompt.

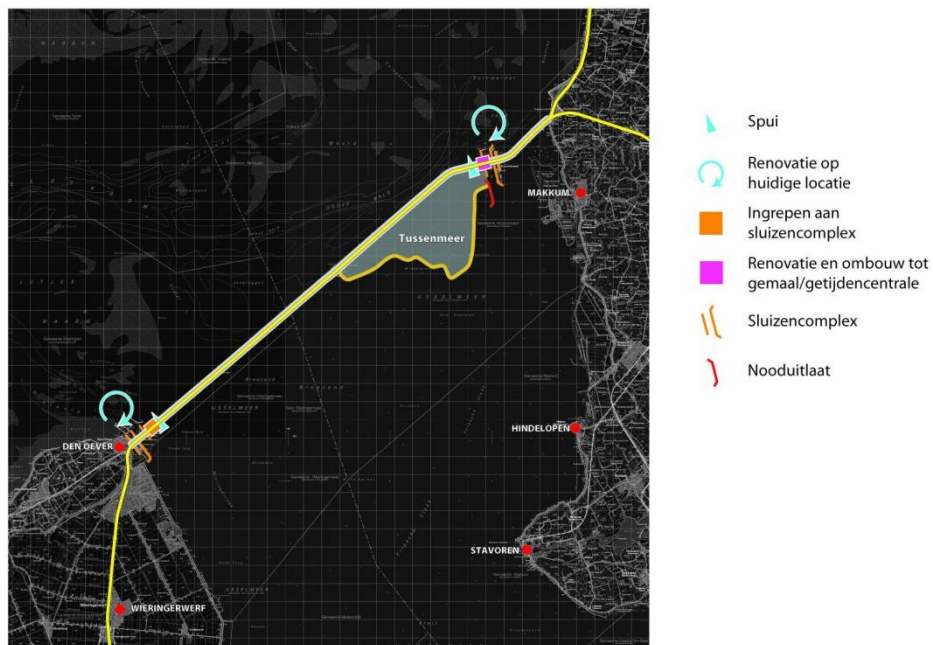
Motivering

De visie is ontwikkeld op basis van de ambitie om moerassige en brakke natuursystemen toe te voegen en de dijk zelf zoveel mogelijk in zijn waarde te laten. De Afsluitdijk verandert op de korte termijn grotendeels niet van vorm. De aanpassing bestaat voornamelijk uit de bekleding van de dijk die opgewassen moet zijn tegen de kracht van overslaand water. De verhoging van de Afsluitdijk over een lengte van 5 km komt omdat de huidige dijk daar al is verbreed en een verhoging relatief eenvoudig – en tegen relatief lage kosten – kan worden doorgevoerd. De getijwerking in het tussenmeer heeft potenties voor natuurontwikkeling (zoet-zoutovergang met kleine permanente lokstroom uit het IJsselmeer, kwelders en vispassages), zodat niet alleen waterbeheer en energie zijn geïntegreerd, maar ook natuur.³⁹ De vispassage via het tussenmeer vervangt de vispassage via ESA.

Overigens kan tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) het steenachtige materiaal van de overslagbestendige dijk (zie Figuur 4.4) worden bedekt met gras opdat de uitstraling van de dijk niet wezenlijk afwijkt van de huidige groene uitstraling.

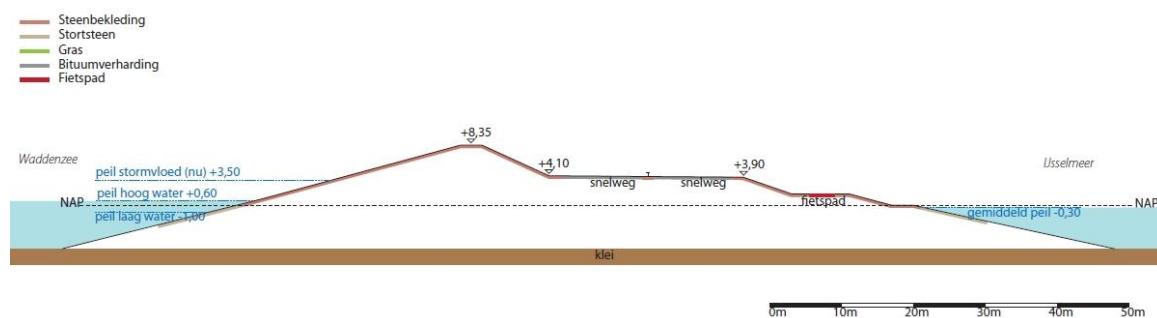
³⁹ Door Van Vossen et al. (2010, p. 76) wordt opgemerkt dat er bij verpompen met een onregelmatige frequentie een wisselende hoeveelheid zoet water in het tussenmeer terecht komt.

Figuur 4.14 WaterMachine zonder ESA (WMz)



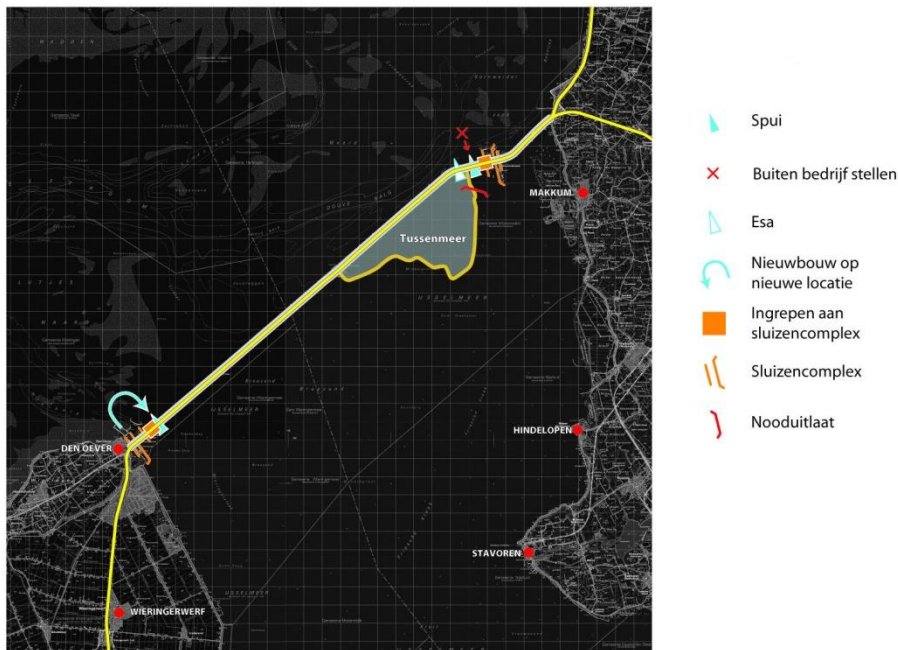
Bron: Grontmij (2010a). Correctie: In tegenstelling tot de duiding in de legenda worden de spuisluis en de schutsluis bij Den Oever nieuw gebouwd en dus niet gerenoveerd.

Figuur 4.15 WaterMachine (m/z ESA): doorsnede dijklichaam



Bron: Grontmij (2010a).

Figuur 4.16 WaterMachine met ESA (WMm)



Bron: Grontmij (2010a).

Tabel 4.6 Kenmerkende dimensies en elementen kern WaterMachine (WMz/m) zonder en met ESA

Basisprincipe veiligheid	Overslagbestendig en beperkte verhoging, tot 2065
Hoogte boven NAP	Dijk: + 8,35 m
Breedte	Dijk: 98 m (verbreding dijkprofiel met ca 8 meter)
Schutsluizen	Den Oever: nieuwbouw schutsluis Kornwerderzand: nieuwbouw schutsluis
Spuien en pompen:	Zonder ESA: Nieuwbouw Den Oever; Renovatie en ombouw Kornwerderzand tot gemaal (800 m ³ /s) / getijcentrale, na 2050 nieuwbouw
	Met ESA: Nieuwbouw Den Oever; Realisatie ESA als PTA (incl. getijcentrale), pompcapaciteit 900 m ³ /s Spui Kornwerderzand buiten bedrijf
Spuien/pompen: > 2060	Extra pomp in 2060 (1.100 m ³ /s)
Autosnelweg	2x2 rijstroken op huidige locatie
Fietspad	Op dijkverbreding aan IJsselmeerzijde
Aanvullende werken	Oostelijk deel zanddam met verondiept tussenmeer; vispassage tussenmeer - IJsselmeer; noodinlaat zoetwater Met ESA (WMm) verschuift de nooduitlaat iets naar het westen tot in de lijn van ESA.

4.3 Overzicht van kernen en korte beschouwing

Typering van de kernen

Tabel 4.7 presenteert een typering van de kernen op basis van enkele ontwerpeigenschappen.

Tabel 4.7 Typering van de kernen

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Ontwerpeigenschap						
Voldoet aan veiligheidseis tot	2100	2050/2100	2100	2100	2100	2065/2100
Hoofdrichting borging waterveiligheid	Op de dijk	Op de dijk	Op de dijk	Wad	Op de dijk	Op de dijk
Versterking	Hard, natuurlijk (zand/klei)	Hard, Artificieel	Hard, artificieel	Zacht, natuurlijk (zand, slib)	Hard, natuurlijk (zand/klei)	Hard, artificieel
Richting verbreding dijklichaam	IJsselmeer	IJsselmeer beperkt	Niet	Wad	IJsselmeer	IJsselmeer beperkt
Beeld van de dijk	Gras	Verhard	Verhard	Gras	Gras	Verhard
Aanvullende ingrepen (ruimtelijk/visueel)	Niet	Niet	Niet	Wad	IJsselmeer	IJsselmeer
Ruimte voor nieuwe natuur in de kern	Niet	Niet	Niet	zandnok in Wad	IJsselmeer	IJsselmeer
Spui- en pompcapaciteit	ESA + DO/Kwz nieuw	ESA + DO/Kwz: versterkt, na 2050 nieuw, cf. 21R	ESA + DO/Kwz nieuw	ESA + DO/Kwz nieuw	ESA + DO nieuw + pompen Valmeer & Blue Energy	DO nieuw; ESA als pomp; Kwz dicht
Extra pompen > 2035	1.000 m ³ /s in 2035 én 1.000 m ³ /s in 2060	1.000 m ³ /s in 2035 én 1.000 m ³ /s in 2060	1.000 m ³ /s in 2035 én 1.000 m ³ /s in 2060	1.000 m ³ /s in 2035 én 1.000 m ³ /s in 2060	600 m ³ /s in 2035 én 1.000 m ³ /s in 2060	1.100 m ³ /s in 2060
Schutsluizen	Nieuw DO + Kwz	Renovatie DO+ Kwz. Na 2050: nieuw cf. 21R	Nieuw DO + Kwz	Nieuw DO + Kwz	Nieuw DO + Kwz	Nieuw DO + Kwz
Zandbron	Niet bepaald	Niet nodig	Niet nodig	IJsselmeer, onderwa-terland-schap	IJsselmeer, Valmeer	IJsselmeer, grote putten
Vispassage	1: ESA	1: ESA	1: ESA	1: ESA	1: bij ESA	1: tussen-meer

ESA = Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk; DO = Den Oever; Kwz = Kornwerderzand.

Oplossingen voor dijklichamen

De projectalternatieven 2100-Robuust en Natuurlijk Afsluitdijk gaan uit van een verhoging en verbreding van het dijklichaam. Basisalternatief en WaterMachine maken de Afsluitdijk overslagbestendig, waarbij de laatste de dijk ook enigszins verhoogt (+0,85m). Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine kunnen in zekere mate worden opgevat als uitbreidingen van respectievelijk 2100-Robuust en Basisalternatief.

De zes projectalternatieven kunnen worden gegroepeerd naar voornaamste maatregel aan het dijklichaam en daarmee op de functie waterveiligheid. Dit resulteert in de volgende vier typen maatregelen aan het dijklichaam:

1. Verhoging en verbreding (2100-Robuust en Natuurlijk Afsluitdijk),
2. Overslagbestendig:
 - a. Zonder verhoging (Basisalternatief),
 - b. Met beperkte verhoging (WaterMachine).
3. Plaatsen van een betonnen muur (stormschild) (Monument in Balans),
4. Plaatsen van een parallelle dijk (zandnok: een zanddijk bekleed met klei en gras) aan Waddenzeekant inclusief verflauwing Afsluitdijk (WaddenWerken).

Waterbeheer: spuien en de werkhypothese 'extra pompen'

De invulling van de waterbeheerfunctie is voor Monument in Balans en WaddenWerken identiek aan die voor 2100-Robuust: de huidige twee spuisluizen, Den Oever en Kornwerderzand, worden aangevuld met ESA. Het Basisalternatief renoveert eerst de bestaande kunstwerken, zowel schut- als spuisluizen, waarna pas in 2050 nieuwbouw volgt. ESA wordt in Basisalternatief meteen gebouwd. Hieruit volgt dat vier kernen beschikken over drie spuisluiscomplexen. Onder de werkhypothese van paragraaf 3.3 worden deze vier kernen in 2035 uitgerust met een eerste gemaal (1.000 m³/s), waarna in 2060 een tweede volgt (nog eens 1.000 m³/s)

Twee kernen, Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine, hebben een spuicapaciteit die (fors) lager is dan de andere kernen. Natuurlijk Afsluitdijk heeft als spuisluizen Den Oever en ESA, terwijl WaterMachine alleen de spuisluis in Den Oever handhaaft. De spuicapaciteit van Natuurlijk Afsluitdijk bedraagt ongeveer 80% van 2100-Robuust. Voor WaterMachine is dat ongeveer 30% (Regeling, 2010a).⁴⁰ Beide kernen bevatten pompen, die worden gecombineerd met maatregelen op het gebied van energie (opwekking en/of opslag). Het gaat om:

1. Blue energy-centrale plus het Valmeer (Natuurlijk Afsluitdijk),
2. Centrale voor opwekken getijenergie met de mogelijkheid tot pompen (WaterMachine).

In zowel Natuurlijk Afsluitdijk als WaterMachine is in de dijk rondom het tussenmeer een 'nooddoorlaat' opgenomen. Deze fungeert als een soort spui tussen IJsselmeer en tussenmeer. Water dat met deze nooddoorlaat wordt afgevoerd uit het IJsselmeer, dient vervolgens te worden weggepompt uit het tussenmeer. In Natuurlijk Afsluitdijk gebeurt dit via het Valmeer en in WaterMachine via het gemaal.

Deze basiselementen geven met hun pompcapaciteit al gedeeltelijk invulling aan de werkhypothese van paragraaf 3.3. De beperktere spuicapaciteit van Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine vereist dat de bestaande pompcapaciteit al vóór 2035 wordt ingezet.

De optimalisatie van het gecombineerd gebruik van spui- en pompcapaciteit valt buiten het bestek van dit rapport. Een optimale afstemming is alleen mogelijk op basis van een gedetailleerd waterloopkundig model. Een pompdebiet kan in beginsel 24 uur per dag op een constant niveau worden gehouden, terwijl een spuidebiet afhankelijk is van het verschil tussen twee peilen en de duur van dit verschil. De dynamiek van het peil in de Waddenzee volgt de getijbeweging, terwijl ook de windrichting en -sterkte van groot belang kunnen zijn, vooral in de winter. Het IJsselmeerpeil is vooral afhankelijk van seizoensgebonden afvoer van de Rijn en de wind. Daarnaast biedt het IJsselmeer, gezien zijn omvang, een buffercapaciteit waarmee een piek in de rivierafvoer tijdelijk kan worden opgevangen en niet meteen hoeft te worden

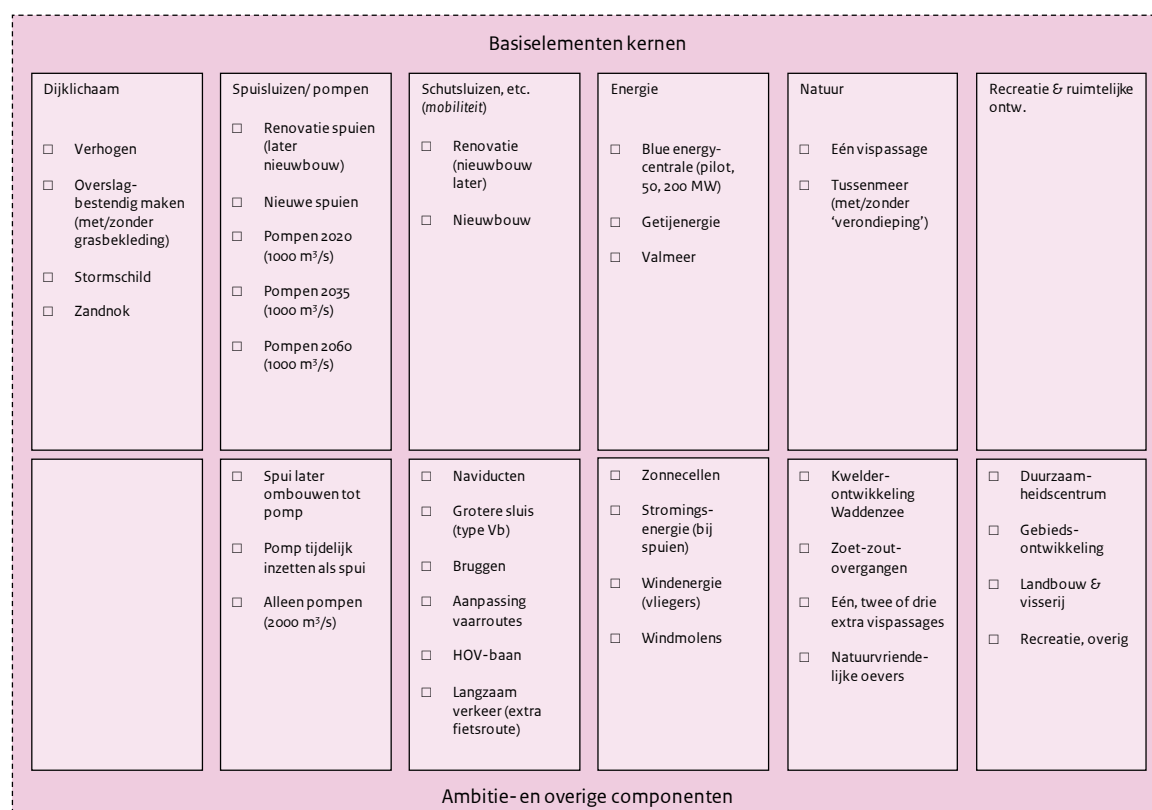
⁴⁰ In de oorspronkelijke visie voor WaterMachine werd het IJsselmeerpeil verhoogd met +25 cm (Rijkswaterstaat et al, 2009). Deze maatregel is echter een component en is niet opgenomen in de kern. Hierdoor zal er regelmatig/veelvuldig overtollig IJsselmeer moeten worden weggepompt door de pompturbines. Dan kan er dus geen getijenergie worden opgewekt noch getijwerking plaatsvinden in het tussenmeer. Getijwerking is bedoeld om de gewenste natuurwaarde te creëren.

gespuid of weggepompt. Ook is het bijvoorbeeld mogelijk om anticiperend te pompen en te spuien, waarbij de buffercapaciteit van te voren wordt vergroot op het moment dat bijvoorbeeld het peil in de Rijn in Duitsland stijgt.

Combinatiemogelijkheden

De zes projectalternatieven (kernen) zijn ontstaan vanuit een verkenning naar de mogelijkheden voor de Afsluitdijk van Rijkswaterstaat en de provincies Noord-Holland en Fryslân samen met marktpartijen, maatschappelijke organisaties en lokale overheden. Het is eenvoudig om door het anders combineren van elementen nog meer projectalternatieven te formuleren. Dit is niet gedaan om de analyse overzichtelijk te houden. Om toch een overzicht te bieden van de mogelijkheden, zijn de verschillende elementen van de kernen en ambitiecomponenten en enkele andere interessante bouwstenen bijeengebracht in Figuur 4.17.

Figuur 4.17 Mogelijkheden voor samenstellen van kernen: basiselementen, ambitie en overige componenten



4.4 Overzicht van componenten

De componenten⁴¹ zijn afkomstig uit de visies van de consortia en weerspiegelen de ideeën die zijn aangedragen om de verschillende ambities van “meer doen met de Afsluitdijk” te verwezenlijken. In de marktconsultatie is gevraagd de volgende ambities in de visies mee te nemen (Rijkswaterstaat, 2008a):

- Proces;
- Icoonfunctie;
- Kansen door te combineren;
- Veiligheid en waterbeheer;
- Mobiliteit (wegverkeer, openbaar vervoer, vaarwegen);
- Natuur;
- Duurzame energie;
- Regionale economische groei (toerisme, nieuwe landbouw, kennis);
- Landmark.

In de visies is op verschillende wijze invulling gegeven aan deze componenten. In deze analyse is voor de componenten uitgegaan van de indeling in onderstaande tabellen. Per component is daarbij aangegeven hoe deze is te combineren met de verschillende kernen. Deze indeling is door Decisio (Hoefsloot en De Pater, 2010) gebruikt in de verdere uitwerking van de effecten.

Tabel 4.8 Componenten Energie en 'toepasbaarheid' bij verschillende kernen

Zonnecellen	Op talud (hoogte systeem 2 meter); onderscheid in klein (1 km) en groot (20 km); toepasbaar in alle alternatieven
Blue energy	Drie niveaus; 1 (pilot) - 50- 200 MW; locaties Den Oever, Breezanddijk, Kornwerderzand; toepasbaar in alle alternatieven
Stromingsenergie	Alle alternatieven inpasbaar in de spui
Getijenergie	Alle kernen met een 'tussenmeer'
Windenergie (vliegers)	Locatie en dimensies onvoldoende bepaald om concreet te analyseren. Mogelijke pilot bij duurzaamheidscentrum in alle alternatieven
Windmolens	Alle alternatieven.
Bron: Grontmij (2010a), bewerking CPB.	

⁴¹ Deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op Hoefsloot en De Pater (2010).

Tabel 4.9 Componenten Natuur en 'toepasbaarheid' bij verschillende kernen

Kwelderontwikkeling Waddenzee	Als tweede fase WW alleen in WW: 1500 ha + luwtebank. Als losse component inpasbaar in de andere alternatieven in twee uitvoeringsvormen: gekoppeld aan vaste wal of gekoppeld aan Afsluitdijk. Omvang ordegrrootte 500 ha of 1500 ha (breedte 500 meter; lengte 10 of 30 km)
Zoet-zoutovergang (een permanente verbinding tussen zoet en zout water: dit kan in de vorm van een eenvoudige vispassage in de dijk, maar ook middels brakke tussenmeren en grotere verbindingen tussen zoet en zout water)	Waddenkant: Als in visie WW, met gebruik van één spuikanaal spui DO als permanente lokstroom; koppelbaar met alle alternatieven. IJsselmeerkant: Aan Makkumerkant als in visies MiB en WW; Als in visie NA via brak tussenmeer en met "doorlaatwerk"; Als in visie WM via brak tussenmeer en getijcentrale met permanente lokstroom vanuit IJsselmeer naar tussenmeer
Een, twee of drie extra vispassages	Alle kernen, vispassages dienen op 'voldoende' afstand van elkaar geplaatst te worden.
Natuurvriendelijke oevers IJsselmeer	Als tweede fase in NA en WM. Als losse component inpasbaar aan de Afsluitdijk; omvang ordegrrootte 1 km, 50 meter breed (5 ha), of meerdere stappen van 5 ha naast elkaar
Bron: Grontmij (2010a), bewerking CPB.	

Tabel 4.10 Componenten Recreatie en ruimtelijke ontwikkeling en 'toepasbaarheid' bij verschillende kernen

Duurzaamheidscentrum	Omvang: 250.000 bezoekers; programma conform onderzoek Ernst & Young; locaties Breezanddijk of Kornwerderzand; toepasbaar in alle alternatieven
Gebiedsontwikkeling	Programma onvoldoende bepaald en buiten de scope van de Structuurvisie/PlanMER; elementen komen terug bij component naviduct en component duurzaamheidscentrum
Landbouw & visserij	Landbouw: kleinschalig/extensief in alle alternatieven met kwelderontwikkeling. Visserij: kweek- en vismogelijkheden in de alternatieven met brakwatermeren (NA en WM)
Recreatie, overig	Baai + huisjes Frsyke Hop; in WM of NA; ontwikkeling op basis van dit concept maar dichter tegen Kwz in de andere alternatieven. Kleinschalige activiteiten Breezanddijk (uitbreiding camping o.i.d.) en/of Kwz in alle alternatieven. (In combinatie met componenten) recreatieve mogelijkheden westelijke delen Zanddijk of met uitgebreide kwelders.
Bron: Grontmij (2010a), bewerking CPB.	

Tabel 4.11 Componenten Mobiliteit en 'toepasbaarheid' bij verschillende kernen

Naviducten (DO en Kwz)	Huidige scheepsklasse Va (of grotere scheepsklasse Vb). Kan in alle alternatieven.
Grotere sluis (type Vb)	Alle kernen waarbij een nieuwe schutsluis (of naviduct) wordt gerealiseerd.
Bruggen (30 meter hoog over de sluiscomplexen)	Alle alternatieven.
Aanpassing Vaarroutes (over de Wadden tussen Kwz en Harlingen)	Alle alternatieven, mits gekoppeld aan verplaatsing schutsluis/naviduct naar locatie ten westen van Kornwerderzand.
HOV-baan	IJsselmeerzijde in alle alternatieven. Op de zandnok in WW
Langzaam verkeer (extra fietsroute)	Alle alternatieven die substantieel breedte toevoegen, dus WaterMachine en Natuurlijk Afsluitdijk
Bron: Grontmij (2010a), bewerking CPB.	

De KBA's van de componenten in bovenstaande tabellen zijn uitgewerkt door Decisio, zie Hoefsloot en De Pater (2010). Hoofdstuk 7 vat de belangrijkste conclusies samen van de analyse van de componenten.

5 Conclusies en overzicht welvaartseffecten ‘kernen’ voor de Afsluitdijk

5.1 Overzichtstabel

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de welvaartseffecten van de kernen (projectalternatieven) ten opzichte van het referentiealternatief 2100-Robuust. Een positief getal duidt op een welvaartswinst (bijvoorbeeld lagere kosten). Een negatief getal op welvaartsverlies (bijv. hogere kosten). Voor de ‘kern’ 2100-Robuust (21R) staan – voor zover mogelijk – de absolute waarden voor de effecten weergegeven.

De tabel vat het resultaat van deze KEA *niet* samen met één getal. Dit is ondoenlijk. De belangrijkste conclusies van deze KEA hebben veelal betrekking op een individueel effect en element. De bespreking van de afzonderlijke effecten en uitleg van in de tabel genoemde effecten vindt plaats in aparte paragrafen. In hoofdstuk 5 wordt uitgebreid ingegaan op de effecten en worden de in dit hoofdstuk genoemde conclusies onderbouwd.

Tabel 5.1 KEA-resultaten: absolute waarden voor 2100-Robuust (21R) en verschillen t.o.v. 21R voor overige kernen *

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Technische haalbaarheid volledige kern	ja	ja	ja	ja	nee /on-bekend	ja, mits
Risico significant negatieve natuureffecten Natuurbeschermingswet (Nbw)	gering	gering	geen	hoog	relevant	beperkt / relevant
Kosten (aanleg, onderhoud en energie)	totaal	verschil t.o.v. 21R (positief = 'baten' of 'lagere kosten')				
Dijklichaam	440	100	80	10	10	90
Schutsluizen	200	70	0	0	0	0
Spuisluizen	690	80	0	0	160	450
Energie-elementen	0	0	0	0	-1.730	-710
Natuur-elementen	0	0	0	0	-550	-690
						- ' - '
Energiegebruik en -opbrengst	10	0	0	0	990	0
Beheer	- ' - '	0	0	0	0	0
Mitigerende/compenserende maatregelen	0	0	0	-	0	0
Subtotaal	1.330	250	80	10	-1.120	-840
Werkhypothese: extra pompen	300	0	0	0	90	230
Totaal kosten en energie, excl. '- ' en '+ '	1.630	250	80	10	-1.030	-610
Flexibiliteit = kosten kernen bij andere klimaatscenario's	1.320 à 1.580	0 à 80	0	0	-80 à 0	-160 à 0
Veiligheid – verwachte schade (restrisico)	600	-30	0	0	0	-30
Strategische zoetwatervoorraad						
Afname zoet watervolume?	ref	0	0	0	gering	gering
Overslaand zoutwater	ref	gering/-	0	0	0	gering/-
Onderscheidend verschil in natuurlpunten?	ref	nee	nee	nee	ja	?
Natuurlpunten, strook 6 km om Afsluitdijk	11.740	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.630	?
idem, in % t.o.v. natuurlpunten 21R	ref	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	14%	?
Effect op:						
Landschap en monumenten	ref	?	?	?	?	?
Archeologie	ref	0	0	0 / -	-	0 / -
Wegverkeer (auto, fiets en ov)	ref	0	0	0	0	0
Scheepvaart	ref	0	0	0	0	0
Externe veiligheid, geluid- en lichthinder	ref	0	0	0	0	0
Militair gebruik	ref	0	0	0	0	0
*NCW 2015, prijspeil 2009, marktprijzen incl. btw en kosten voor Rijkswaterstaat.						
Uitleg: Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro. ? = niet bekend, effect dient (politiek) afgewogen te worden tegen de andere effecten. - of + = negatief respectievelijk positief effect. Niet in geld uitgedrukt, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend. -- of ++ = negatief respectievelijk positief effect. Niet in geld uitgedrukt, maar mogelijk wel doorslaggevend. 0 = geen verschil t.o.v. 2100-Robuust (21R). n.v.t. = niet van toepassing.						

5.2 Technische haalbaarheid

Uitleg tabel

De kern 2100-Robuust (21R) is technisch haalbaar: vandaar 'ja'. Dit geldt dus in principe ook voor de kernen Basisalternatief (Ba), Monument in Balans (MiB) en WaddenWerken (WW). De kern Natuurlijk Afsluitdijk (NA) zoals omschreven in hoofdstuk 4 is niet haalbaar. Na enkele logische aanpassingen van deze kern wordt de technische haalbaarheid 'onbekend'.

Conclusies

De kernen 2100-Robuust (21R), Monument in Balans (MiB) en WaddenWerken (WW) zijn zonder enig voorbehoud technisch realiseerbaar. De kern Natuurlijk Afsluitdijk (NA) beschreven in hoofdstuk 4 is niet realiseerbaar. De blue energy-centrale is op zijn vroegst pas rond 2030 technisch realiseerbaar. Het staat bovendien geenszins vast dat deze techniek praktisch op grote schaal uitvoerbaar en rendabel zal zijn. De technische haalbaarheid van het element Valmeer in deze kern is onbekend. WaterMachine (met ESA, WMm) is technisch realiseerbaar mits het ontwerp van de spui ESA wordt aangepast aan de beoogde functie van de pompturbine. De kern Basisalternatief (Ba) waarin alle oude kunstwerken eerst gerenoveerd worden, lijkt ook technisch haalbaar. Dit oordeel is gebaseerd op een 'expert opinion'.

De variant WaterMachine zonder ESA (WMz) is technisch niet haalbaar. Deze variant is bijna gelijk aan de variant WaterMachine met ESA. Het enige verschil is dat de pompturbine niet zou worden gebouwd op de huidige plek van ESA, maar dat de oude spuisluis bij Kornwerderzand hiervoor gebruikt zou worden. Het inbouwen van een getijcentrale/pomp in deze oude spuisluis is echter technisch niet haalbaar. De fundering op houten palen en verdere opbouw uit stampbeton (ongewapend beton van lage kwaliteit) is hier onvoldoende tegen bestand. De variant Watermachine zonder ESA vervalt daarmee. Daarom is deze variant ook niet weergegeven in Tabel 5.1.

5.3 Significant negatieve natuureffecten waardoor mogelijk geen vergunning

Conclusies en uitleg tabel

WaddenWerken heeft een 'hoog' risico op het optreden van significant negatieve effecten op de omringende natuur (Natura 2000 gebieden). Bij Natuurlijk Afsluitdijk is dit risico nog steeds 'relevant' en bij WaterMachine 'beperkt' tot 'relevant'. De kernen 2100-Robuust en Basisalternatief hebben geen significant negatieve effecten op de lange termijn. Significantie op de korte termijn (i.e. tijdelijk) is niet uit te sluiten, waardoor de typering 'gering' geldt. Ten slotte kan worden gesteld dat Monument in Balans als enige 'geen' risico kent op het optreden van significant negatieve effecten (korte en lange termijn). Voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 mogen er in principe géén significant negatieve effecten optreden.

5.4 Kosten van aanleg, onderhoud en energie (incl. eventuele energieopbrengsten)

Uitleg tabel

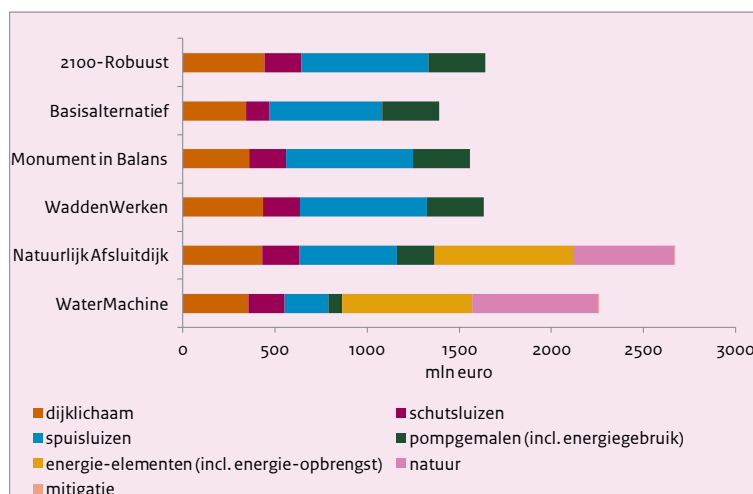
De kosten van de kernen worden onderverdeeld in de kosten voor het dijklichaam, de schutsluizen, spuisluizen, etc. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat de versterking van het dijklichaam bij 2100-Robuust (21R) 440 mln euro kost in contante waarde (discontovoet 5.5%, basisjaar 2015). Op dit punt is Basisalternatief 80 mln euro goedkoper. Indien alle kostenposten worden opgeteld, dan kost 2100-Robuust in totaal 1.640 mln euro. Basisalternatief is in totaal 250 mln euro goedkoper. Natuurlijk Afsluitdijk (NA) is bijvoorbeeld iets meer dan 1 miljard euro duurder dan 2100-Robuust.

Conclusies

De totale contante waarde van aanleg-, onderhouds- en energiekosten van 2100-Robuust bedragen samen zo'n 1,6 miljard euro bij een discontovoet van 5,5% (nominaal 2,4 miljard euro). Basisalternatief is door zijn gefaseerde aanpak van het dijklichaam en de kunstwerken in contante waarde 250 mln goedkoper. Monument in Balans is door een goedkoper stormschild 80 mln euro (contante waarde) goedkoper dan 2100-Robuust. De zandnok in WaddenWerken is in contante waarde exact even duur als de traditionele ophoging en verbreding van het dijklichaam bij 2100-Robuust. De meerkosten van 1 miljard euro van Natuurlijk Afsluitdijk zijn vooral toe te schrijven aan de aanleg van het Valmeer en de zanddijk met het 'verondiepte' tussenmeer. De meerkosten van 600 miljoen euro van WaterMachine komt primair door de zanddijk en het 'verondiepte' tussenmeer.

Figuur 5.1 biedt een overzicht van de contante kosten van de onderzochte projectalternatieven. Hieruit blijkt dat de kosten voor spuien en pompen samen veruit de grootste kostenpost vormen bij de 'goedkopere' kernen (2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans, WaddenWerken).

Figuur 5.1 Contante kosten onderzochte projectalternatieven/kernen *



*Marktprijs incl. kosten Rijkswaterstaat, pp. 2009, CW 2015.

5.5 Flexibiliteit = kosten bij andere klimaatscenario's

Conclusies en uitleg tabel

Alle kernen kunnen – gemeten in contante waarde – tegen beperkte meerkosten worden aangepast aan hogere zeespiegelstijgingen. Bij een lagere zeespiegelstijging kunnen kosten bespaard worden. Basisalternatief is door zijn gefaseerde aanpak van eerst renoveren en dan pas nieuwbouw flexibeler dan de overige kernen. In het meest voordelige scenario (een 'lage' zeespiegelstijging van 35 cm tot 2100) kan het kostenvoordeel van 250 mln euro in het W4-scenario oplopen met 80 mln euro tot 330 mln euro (contante waarde). Dit komt doordat de overslagbestendige dijk dan niet in 2050 hoeft te worden opgehoogd en verbreed. Monument in Balans en WaddenWerken verschillen in contante waarde op dit punt niet van 2100-Robuust. Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine zijn juist 'minder flexibel' dan 2100-Robuust: de méérkosten bovenop de eerder genoemde kostenverschillen bij andere scenario's ten opzichte van 2100-Robuust kunnen oplopen met maximaal 160 mln euro (contante waarde).

5.6 Veiligheid – verschillen in veiligheid

Uitleg tabel

De verwachte schade bij het falen van de Afsluitdijk en/of de dijkeringen gelegen aan het IJsselmeer en Markermeer voor 2100-Robuust bedraagt 600 mln euro. Dit ‘restrisico’ is inclusief alle mogelijke faaloorzaken voor de dijken rond het IJsselmeer en het Markermeer; dus ook oorzaken die los staan van het al of niet falen van de Afsluitdijk. De totale verwachte schade bij Basisalternatief bedraagt 630 mln euro. Het verschil van ‘–30’ mln wordt in de tabel weergegeven. Er is gekozen om dit als een negatief getal weer te geven, omdat het een negatief welvaartseffect betreft.

Conclusies

Alle kernen bieden in alle jaren tot en met het jaar 2100 een bescherming tegen overstromen van minimaal 1 op 10.000. Alle kernen bieden bij aanleg in 2020 een hogere veiligheid. De minimale veiligheid is dan 1 op 100.000. Andere bieden dan een veiligheid van zelfs 1 op (maximaal) 1.000.000. De contant gemaakte baten van deze verschillen in veiligheid zijn echter beperkt: maximaal 30 mln euro. De kosten van de relatief beperktere veiligheid van Basisalternatief vallen bij benadering weg tegen de baten van een grotere flexibiliteit van deze kern.

Het wegpompen van overtollig zoet water in plaats van spuien heeft mogelijk wél substantiële veiligheidsbaten. Het kwantificeren hiervan vergt aanvullend onderzoek.

5.7 Strategische zoetwatervoorraad

Conclusies en uitleg tabel

Geen van de kernen lijkt een significante invloed te hebben op de hoeveelheid en kwaliteit van de zoetwatervoorraad. Voor het effect van overslaand zout water bij de kernen Basisalternatief en WaterMachine lijkt de typering ‘gering’ of ‘verwaarloosbaar’ op zijn plaats. Geraadpleegde deskundigen van de Waterdienst en Deltares benadrukken dat zonder nader onderzoek de typering ‘verwaarloosbaar’ op dit moment nog niet goed te onderbouwen is: vandaar de toevoeging ‘–’ (een negatief welvaartseffect, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend) bij beide kernen.

5.8 Natureffecten gemeten met ‘natuurpunten’

Conclusies en uitleg tabel

De totale (negatieve én positieve) natureffecten zijn op basis van expert-oordeel door ecologen in kaart gebracht met ‘natuurpunten’. De (kleine) verschillen in de natureffecten tussen de kernen 2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans en WaddenWerken zijn niet onderscheidend volgens deze methode. De kern Natuurlijk Afsluitdijk en dan vooral de zanddijk met het ‘verondiepte’ tussenmeer (kosten zo’n 550 mln euro) leidt tot een natuurwinst van zo’n 1.600 punten (+14%). Een dergelijke natuurpunten-winst kan overigens ook worden gerealiseerd door de aanleg van één extra vispassage (kosten 10 mln euro). Doordat het bij WaterMachine noodzakelijk is om veelvuldig water weg te pompen via het tussenmeer, zijn er geen natureffecten van WaterMachine voorhanden. Mogelijk is de natuurwinst van een dergelijk tussenmeer bij veelvuldig pompen beperkt.

5.9 ‘Landschap en monumenten’ en ‘Archeologie’

Conclusies en uitleg tabel

Het is niet mogelijk om de verschillen op het terrein van ‘landschap en monumenten’ en ‘archeologie’ te monetariseren. Deze verschillen (zie paragraaf 6.7 en 6.8) moeten daarom samen met alle overige welvaartseffecten door de besluitvormers worden meegewogen bij het uiteindelijke besluit.

De meest ingrijpende verandering van het landschap betreft de aanleg van het tussenmeer bij zowel Natuurlijk Afsluitdijk als WaterMachine. Bij Natuurlijk Afsluitdijk wordt tevens een Valmeer gerealiseerd.

Bij een voorgenomen wijziging van een Rijksmonument – of een beschermd dorpsgezicht – is een vergunning nodig in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). De Afsluitdijk als geheel is geen Rijksmonument, maar enkele afzonderlijke onderdelen zijn dat wel. Daarnaast is Kornwerderzand een beschermd dorpsgezicht.

De versterking van de Afsluitdijk bij de kernen Basisalternatief en WaterMachine kan tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) worden bedekt met gras opdat het aanzicht van de dijk niet wezenlijk verandert ten opzichte van de huidige dijk en 2100-Robuust.

5.10 Wegverkeer, scheepvaart, externe veiligheid, geluid- en lichthinder en militair gebruik

Conclusies en uitleg tabel:

De kernen hebben geen onderlinge verschillen. Ook de verschillen met de huidige situatie zijn zeer beperkt.

6 Kosten en baten van de ‘kernen’ voor de Afsluitdijk

Dit hoofdstuk bespreekt de in hoofdstuk 5 genoemde effecten en geeft de onderbouwing van de daar gemelde conclusies.

Leeswijzer

Achtereenvolgens worden de volgende effecten besproken. Hierbij wordt de volgorde van de effecten uit het voorgaande hoofdstuk aangehouden:

1. Technische haalbaarheid;
2. Investeringskosten en kosten van beheer, onderhoud en energie;
3. Flexibiliteit van de kernen voor zeespiegelstijging;
4. Baten (over)veiligheid;
5. Strategische zoetwatervoorraad;
6. Natuureffecten (incl. significant negatieve natuureffecten Natura 2000-gebieden);
7. Landschap en monumenten;
8. Archeologie;
9. Wegverkeer, scheepvaart, fiets en openbaar vervoer;
10. Externe effecten, geluid- en lichthinder en ‘militair gebruik’.

Deze effecten worden in gelijkgenummerde paragrafen besproken.

6.1 Technische haalbaarheid

Bij technische haalbaarheid wordt uitsluitend gekeken naar de maakbaarheid en niet naar het kosten-batensaldo. Tabel 5.1 geeft aan dat de kernen 2100-Robuust, Monument in Balans en WaddenWerken zoals beschreven in hoofdstuk 4 technisch haalbaar (lees: maakbaar) zijn. Dit kan worden geconcludeerd op basis van eerdere onderzoeken naar de technische haalbaarheid van de complete visies waarvan deze kernen zijn afgeleid (Rijkswaterstaat et al., 2009; Vrijling en Kanning, 2009). Gezien het relatief hoge abstractieniveau van de oorspronkelijke visies is op enkele onderdelen echter wel aanvullend onderzoek en nadere detaillering van het ontwerp, in een eventuele vervolgfase, noodzakelijk (Vrijling en Kanning, 2009).

Voor de vier overige kernen, Basisalternatief, Natuurlijk Afsluitdijk, WaterMachine met ESA en WaterMachine zonder ESA is de situatie gecompliceerder. We bespreken de technische haalbaarheid van deze kernen afzonderlijk.

6.1.1 Basisalternatief

Renovatie van de kunstwerken in Basisalternatief is technisch haalbaar, maar daartoe dienen eerst levensduurverlengende investeringen te worden gepleegd (De Wilde et al., 2010). Dit is noodzakelijk omdat de sluiscomplexen (spui- en schutsluizen) nabij Den Oever en Kornwerderzand tekenen vertonen van Alkali-Silica Reactie (ASR), een schademechanisme waarbij het beton van binnenuit kapot wordt gedrukt door de vorming van expansieve producten. Dit schademechanisme kan zich ontwikkelen bij voldoende aanwezigheid van vocht en zouten. Beide zijn op de Afsluitdijk ruim voorhanden. Deze ASR-schade is al geruime tijd bekend (Rijkswaterstaat et al., 2009) en was dan ook de reden additioneel onderzoek te laten uitvoeren.

De resultaten van de studies naar ASR-schade zijn recent bekend geworden (Luttik en Waltje, 2010; De Wilde et al., 2010). Luttik en Waltje (2010) kijken naar de mogelijkheid om beide sluiscomplexen de komende 20 jaar te laten voldoen aan de huidige functionele eisen, inclusief huidige kerende functie en de huidige spuicapaciteit. Zij concluderen: “Maatregelen

zijn noodzakelijk, doch in alle redelijkheid uitvoerbaar om daarmee het veilig functioneren van de complexen met de huidige functionaliteit voor langere periode te waarborgen." (Luttik en Waltje, 2010, p.5). De maatregelen betreffen niet alleen de ASR-schade, maar ook werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties (besturing en motoren). De totale kosten om de restlevensduur van de sluizencomplexen van Den Oever en Kornwerderzand te brengen op 10 jaar bedragen volgens hen 25 mln euro. Om de restlevensduur op 20 jaar te brengen dient nogmaals 25 mln euro uitgegeven te worden (totaal dus 50 mln euro).

Luttik en Waltje (2010, p.113) maken het voorbehoud dat zij niet hebben gekeken naar de technische haalbaarheid na 20 jaar (dus vanaf 2030). Evenmin hebben zij gekeken naar de mogelijkheid de huidige complexen te laten voldoen aan de huidige veiligheidsnorm van 1/10.000ste per jaar. In een vervolgstudie hebben De Wilde et al. (2010) dit wel gedaan. De technische haalbaarheid van de renovatie om de sluizencomplexen tot 2050 te laten voldoen aan de geldende veiligheidsnorm is volgens De Wilde et al. (2010) op basis van een *expert judgement* voldoende gewaarborgd. Voorwaarde is wel, dat eerst maatregelen voor levensduurverlenging worden uitgevoerd. De geconstateerde ASR-schade vormt volgens hen geen belemmering meer voor de maatregelen ten behoeve van de waterkerende veiligheid. Naast deze maatregelen wordt door De Wilde et al. (2010) opgemerkt dat extra bodembescherming voor de spuisluizen wenselijk is. De kosten hiervoor bedragen 25 mln euro.

Movares (Rol, 2010) merkt over de technische staat van de spui bij Kornwerderzand in het kader van het inbouwen van pompen op, dat de fundering bestaat uit een gewapend betonnen plaat op houten palen uit 1932. De houten paalfundering vormt volgens Movares een reëel risico voor de constructie (aantasting van dit type fundering uit die periode wordt volgens Movares regelmatig geconstateerd). De (rest-)levensduur van deze constructie acht Movares te beperkt voor het inbouwen van de pompen en de funderingsconstructie kan niet worden vervangen. De Wilde et al. (2010) gaan in hun verslag niet expliciet in op de houten paalfundering. We nemen aan dat de funderingsconstructie bij De Wilde et al. (2010) wel bekend was en dat hun *expert judgement* daarom standhoudt. Mondeling is dit bevestigd door Rijkswaterstaat.

6.1.2 Natuurlijk Afsluitdijk

De technische haalbaarheid van Natuurlijk Afsluitdijk is getypeerd als 'nee/onbekend'.

De typering 'nee' is het gevolg van het feit dat de beoogde bouw van een 200 MW blue energy-centrale rond 2020 niet realistisch is. Blue energy of osmose-energie – elektriciteitsopwekking op basis van een zoet-zoutgradiënt in water – bevindt zich namelijk in een vroeg onderzoeks- en ontwikkelingsstadium. Realisatie van een dergelijke centrale rond 2030⁴² is overigens niet ondenkbaar. Randvoorwaarden voor de bouw van een centrale rond 2030 zijn een verdere ontwikkeling van de technologie en een grootschalige toepassing van osmose-energie in de wereld, waardoor de kosten dalen. Een mogelijk complicerende factor in de verdere ontwikkeling is het bestaan van twee typen technologieën: *Pressure Retarded Osmosis* (PRO) en *Reversed Electro Dialysis* (RED). De eerste levert mechanische energie op basis van een drukverschil tussen zoet en zout water, terwijl de laatste elektriciteit opwekt uit een potentiaalverschil. In Nederland bestaat er vooral expertise op het gebied van RED. Deze technologie is opgenomen in de oorspronkelijke visies (in de kern of component, zie Hoefsloot en De Pater, 2010, p. 23), waaronder Natuurlijk Afsluitdijk. Expertise op het gebied van PRO is vooral voorhanden in Noorwegen. In Lako et al. (2010, p. 16) wordt uitgegaan van een wereldwijd geïnstalleerd vermogen in 2030 dat ongeveer 100 keer zo groot is als het wereldwijd geïnstalleerd vermogen in 2020, waarbij de keuze tussen RED of PRO vooralsnog in het midden wordt gelaten. In 2020 is volgens Lako et al. (2010, p. 14) op de Afsluitdijk maximaal een vermogen van 10 MW realiseerbaar, waarbij een wereldwijd vermogen tussen de 10 en 20 MW wordt verondersteld.

De genoemde kosten en opbrengsten van de blue energy-centrale zijn dus onderhevig aan grote onzekerheden. Een onderbouwde uitspraak over de haalbaarheid van een blue energy-centrale kan mogelijk pas rond 2030 gedaan worden,

⁴² Conform Lako et al. (2010) hanteren wij het jaartal 2030 in de berekeningen. De bouwtijd bedraagt 2 jaar, waardoor oplevering in 2032 plaatsvindt.

gezien de grote mate van afhankelijkheid van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2030 en de eventuele invloed hierop van een relatief grote pilot op de Afsluitdijk zelf.

De typering ‘onbekend’ heeft betrekking op het Valmeer. Voor het Valmeer wordt een deel van het tussenmeer, met een omvang van 7 km², van een ringdijk voorzien en wordt het uitgegraven tot een diepte van 20 m. Een belangrijke eis voor de locatie van een Valmeer is de natuurlijke aanwezigheid van een continue kleilaag aan de onderzijde van het meer. Een dergelijke kleilaag remt de toe- en afstroming van water door de bodem. Er zijn onvoldoende gegevens over de opbouw van de ondergrond beschikbaar om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de continuïteit van de kleilaag. Geologische expertise (Van Vossen et al., 2010) geeft aan dat het niet mogelijk is om met enige zekerheid uitspraken te doen over het voorkomen, de dikte en de eigenschappen van de kleilagen in de ondergrond van het zoekgebied van het Valmeer op diepten tussen ongeveer NAP – 20 m tot NAP – 40 m. Bij een gedeeltelijk ontbreken van de kleilaag is de aanleg van een goed functionerend Valmeer niet haalbaar.

6.1.3 WaterMachine

WaterMachine zonder ESA is getypeerd als technisch ‘niet haalbaar’. De reden hiervoor is dat de huidige staat en de constructie van het spuicomplex bij Kornwerderzand, volgens Movares (Rol, 2010), de plaatsing van pompen verhinderen. De spuisluis bij Kornwerderzand rust op een fundering van houten palen en de pijlers zijn opgebouwd uit stampbeton, dat is ongewapend beton van lage kwaliteit. Deze constructie is onvoldoende bestand tegen de dynamische belasting (trilling) die wordt uitgeoefend door de pompen, vooral bij het starten. De houten paalfundering vormt een reëel risico voor de constructie: aantasting van dit type fundering uit deze periode wordt regelmatig geconstateerd. De funderingsconstructie kan niet worden vervangen.

Daarnaast liggen de spuiokers van het huidige complex niet diep genoeg, zodat bij een ‘golfdal’ in het IJsselmeer mogelijk lucht wordt aangezogen. Hierdoor kan cavitatie⁴³ optreden, waardoor de pompen beschadigd kunnen raken.

Doordat WaterMachine zonder ESA technisch niet haalbaar is, wordt in dit rapport verder geen aandacht meer besteed aan deze subvariant van WaterMachine.

WaterMachine met ESA is technisch haalbaar, mits het ontwerp van ESA aanzienlijk aangepast wordt zodat het een gemaal/getijcentrale wordt. In het bijzonder moet het hele kunstwerk bij aanleg al ca. 15 meter langer worden (in de stroomrichting). Daarnaast adviseert Movares uit te gaan van een ander type pomp dan in het oorspronkelijke ontwerp van WaterMachine.⁴⁴ In het aangepaste ontwerp is gekozen voor een type pomp dat recent in het gemaal IJmuiden is geplaatst. De maximaal haalbare pompcapaciteit van het aangepaste ontwerp is 900 m³/s. Het is ook mogelijk een geheel nieuw pompgemaal te ontwerpen. Dan is een pompcapaciteit van 1.000 m³/s wel haalbaar, waarbij de kosten zo’n 20% lager zijn. Doordat dit geheel nieuw ontworpen gemaal is gebaseerd op de realisatie van een zo goed mogelijke pomp, is dit kunstwerk minder goed te gebruiken als spui. De spui capaciteit is daarom maar 30% van ESA.

In dit rapport wordt voor de kern WaterMachine met ESA uitgegaan van een aangepast ESA-ontwerp (met dus een pompcapaciteit van 900 m³/s). In de gevoeligheidsanalyses wordt nader ingegaan op de inzet van een geheel nieuw ontworpen pompgemaal in plaats van een aangepast ESA-ontwerp.

⁴³ Bij cavitatie imploderen kleine waterdamp- of luchtbellen in het water onder invloed van grote drukverschillen die optreden bij hoge snelheden. De krachten die hierbij vrijkomen, kunnen leiden tot een ernstige aantasting van het oppervlak van de rotorbladen.

⁴⁴ De technische haalbaarheid van de pompturbines in het oorspronkelijke ontwerp van de kern van WaterMachine is niet zeker. Door Rol (2010, p. 15) wordt opgemerkt dat de buitendiameter van het type pomp in het oorspronkelijke ontwerp waarschijnlijk te groot is om het oorspronkelijke aantal van 40 in de spuiokers te plaatsen.

6.2 Investeringskosten en kosten van beheer, onderhoud en energie

6.2.1 Inleiding

De nominale kosten voor de investeringen en het onderhoud van de kernen zijn weergegeven in Tabel 6.1. Er is in de tabel een onderscheid gemaakt tussen maatregelen die te maken hebben met dijklichaam, schutsluizen, spuisluizen (inclusief ESA), natuur (tussenmeer) en energie en pompen (duurzame opwekking energie en pompen van overtollig IJsselmeerwater naar de Waddenzee). Ook zijn de kosten die volgen uit de werkhypothese (paragraaf 3.3) apart vermeld. De kosten voor onderhoud en energiegebruik en de opbrengsten van energieopwekking zijn gegeven per jaar.⁴⁵

In Tabel 6.2 zijn de kosten tegen contante waarde weergegeven. Hierbij zijn de kosten voor onderhoud verwerkt in de kosten per onderdeel. De opbrengsten uit elektriciteitsopwekking en de kosten van energiegebruik (beide inclusief CO₂-kosten dan wel –baten) zijn apart vermeld, zie bijlage B.

In de kostenramingen in deze KEA gaan we ervan uit dat alle nieuwe of gerenoveerde kunstwerken in 2020 operationeel zijn. Dit betekent dat de oude spui- en schutsluizen tot 2020 moeten blijven functioneren. Dit vereist voor alle onderzochte kernen een aanvullende inspanning. De kosten voor het verlengen van de restlevensduur naar 10 jaar bedragen nominaal 25 mln euro (marktprijzen, Luttik en Waltje, 2010). Dit bedrag is niet verwerkt in de kostenramingen die in deze KEA Afsluitdijk worden gepresenteerd en komt daar dus nog bovenop.⁴⁶

6.2.2 Kanttekeningen bij de kostenramingen

De kosten van vier kernen zijn goed onderbouwd, te weten 2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans en WaddenWerken. De kosten van de verschillende onderdelen van deze kernen zijn helder benoemd en geschat met behulp van de SSK-systematiek (met een onzekerheidsmarge van 25%).

De kosten van de overige twee kernen – Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine – zijn niet volgens de SSK-systematiek (of vergelijkbaar) onderbouwd. De onderbouwing is slechts op hoofdlijnen beschikbaar en een gedetailleerde onderverdeling naar onderdelen ontbreekt. Voor de dijklichamen en enkele kunstwerken van beide kernen wijken de bedragen echter weinig af van de kosten voor overeenkomstige maatregelen in de kernen die met de SSK-systematiek zijn opgesteld. Voor het Valmeer komt een door RWS uitgevoerde globale raming redelijk overeen met het opgegeven bedrag (Rijkswaterstaat, 2010, p. 35). Enkel voor de globaal onderbouwde kosten voor het verondiepen van de tussenmeren en de aanlegkosten van de zanddijken in Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine is geen vergelijking met een SSK- of vergelijkbare systematiek beschikbaar. Desondanks kunnen deze kosten als voldoende betrouwbaar betiteld worden, zij het met een hogere onzekerheidsmarge. Alle kosten uit de ramingen worden in beginsel als voldoende betrouwbaar getypeerd. De kostenramingen zijn beoordeeld door het CPB op plausibiliteit en mede op basis van daarvan op meerdere punten aangepast. De kostenramingen waren al eerder door zowel adviesbureau Movares als intern door Rijkswaterstaat getoetst.

⁴⁵ Nominale waarden een gemiddelde over de periode 2020-2100.

⁴⁶ De 25 mln euro meerkosten voor extra onderhoud voor 20 jaar restlevensduur (50 mln euro) ten opzichte van 10 jaar (25 mln euro) worden verrekend in de renovatiekosten van de kunstwerken van Basisalternatief en in enkele gevoeligheidsanalyses in hoofdstuk 8.

Van een aantal basiselementen zijn andere bronnen voor de kosten gebruikt dan Rijkswaterstaat (2010) en Projectteam Toekomst Afsluitdijk (2010). Dit geldt voor:

- Pompturbines (getijcentrale/gemaal), optimaal gemaal en ESA: cijfers afkomstig van Movares (RoI, 2010), bewerkt door CPB en vervolgens gecontroleerd door Rijkswaterstaat en Movares,
- Blue energy-centrale: cijfers afkomstig van Lako et al. (2010) en op dezelfde wijze verwerkt als in Hoefsloot en De Pater (2010).

In bijlage C is een gedetailleerd overzicht van de kanttekeningen bij de kostenramingen opgenomen. Onder andere wordt gewezen op grotere onzekerheidsmarges van enkele onderdelen.

6.2.3 Bespreking nominale kosten

Uit Tabel 6.1 valt op te maken dat de totale nominale kosten voor 2100-Robuust, Monument in Balans en WaddenWerken relatief dicht bij elkaar liggen: tussen 2.280 en 2.370 mln euro. Deze projectalternatieven verschillen qua basiselementen alleen in de maatregel voor het dijklichaam. Ze hebben in de kern geen additionele elementen voor de functies natuur en energie. De kosten voor pompen, 1.000 mln euro, komen voor deze drie volledig voor rekening van de werkhypothese. Zonder de additionele kosten voor pompen (volgens uit de werkhypothese) liggen de nominale kosten tussen de 1.280 en 1.370 mln euro.

De zandnok van WaddenWerken heeft de laagste investeringskosten, maar de jaarlijkse kosten voor onderhoud bedragen bijna het dubbele van de onderhoudskosten voor 2100-Robuust en Monument in Balans.

Tabel 6.1 Nominale kosten en opbrengsten*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Kosten (aanleg)						
Dijklichaam 2020	450	270	380	360	450	330
Dijklichaam aanvullend (2050/2065)		450				450
Dijklichaam - sub totaal	450	720	380	360	450	780
Schutsluizen renovatie (2020)		80				
Schutsluizen nieuwbouw (2020)	210		210	210	210	210
Schutsluizen aanvullend (2050)		210				
Schutsluizen - sub totaal	210	280	210	210	210	210
Spuisluizen renovatie (2020)		240				
Spuisluizen nieuwbouw (2020)	410		410	410	240	240
Spuisluizen aanvullend (2050)		410				
ESA (incl. bijbehorende vispassage)	300	300	300	300	300	
Spuisluizen - sub totaal	710	950	710	710	550	240
Blue Energy-centrale (start 2032)					860	
Valmeer (incl. doorlaat naar IJ'meer)					700	
Pompturbine - kunstwerk aangepast ESA-ontwerp (WMm)						450
Pompturbine - pompen/turbines in aangepast ESA (WMm)						190
Doorlaat W'zee-tussenmeer (NA) / tussenmeer-IJ'meer (WMm)					70	50
Energie en pompen - sub totaal	0	0	0	0	1.620	690
*Prijspeil 2009, marktprijzen, in mln euro.						

Tabel 6.1 Nominale kosten en opbrengsten * (vervolg)

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Kosten (aanleg)						
Zanddijk (NA, WMm)					350	310
Verondieping tussenmeer					260	480
Vispassage brakmeer - IJsselmeer (WMm)						?(b)
Natuur – subtotaal, excl. ‘?b’	0	0	0	0	610	790
Mitigerende/compenserende maatregelen	0	0	0	?(b)	6	1
Subtotaal	1.370	1.950	1.300	1.280	3.440	2.720
Werkhypothese : extra pompen	1.000	1.000	1.000	1.000	800	550
Totale kosten (aanleg), excl. ‘?(b)’	2.370	2.950	2.300	2.280	4.240	3.270
Verschil t.o.v. 21R, excl. ‘?(b)’ (positief = lagere kosten)	ref	-580	70	90	-1.870	-900
Bedragen per jaar	bedragen per jaar, gemiddeld 2020-2100					
Kosten onderhoud en vervanging totale kern	10	10	10	17	98	19
Kosten beheer van totale kern	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)
Verbruik pompturbines WMm (bovengrens)						3
Onderhoud & vervanging extra pompen (werkhypothese) per jaar	10	10	10	10	8	5
Verbruik extra pompen (werkhypothese), per jaar (bovengrens)	2	2	2	2	2	0
Subtotaal kosten per jaar	22	22	22	28	108	27
Opbrengst blue energy (start 2032, bovengrens)					107	
Opbrengst Valmeer (bovengrens)					3	
Opbrengst pompturbines WMm (bovengrens)						1
Subtotaal opbrengsten per jaar	0	0	0	0	110	1
Kosten per jaar minus opbrengsten per jaar, exclusief ‘?(a)’	22	22	22	28	-2	26
<p>*Prijspeil 2009, marktprijzen, in mln euro.</p> <p>Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvoud van 10 mln euro. De gemiddelde opbrengst van de blue energy is 107 mln over 2020-2100. De opbrengst na realisatie (2032) bedraagt echter 126 mln/jaar.</p> <p>(a) De beheerskosten zijn niet bekend (?), maar er zijn geen redenen om significante verschillen tussen de kernen te veronderstellen.</p> <p>(b) Deze kosten zijn niet bekend, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend.</p>						

Tabel 6.2 Aanleg en onderhoudskosten en energiegebruik en -opwekking, NCW*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Kosten (aanleg en onderhoud)						
Dijklichaam 2020	440	260	360	440	430	320
Dijklichaam aanvullend (2050/2065)		90				40
Dijklichaam - sub totaal	440	350	360	440	430	360
Schutsluizen renovatie (2020)						
		90				
Schutsluizen nieuwbouw (2020)	200		200	200	200	200
Schutsluizen aanvullend (2050)		40				
Schutsluizen - sub totaal	200	120	200	200	200	200
Spuisluizen renovatie (2020)						
		240				
Spuisluizen nieuwbouw (2020)	390		390	390	230	230
Spuisluizen aanvullend (2050)		80				
ESA (incl. bijbehorende vispassage)	300	300	300	300	300	
Spuisluizen - sub totaal	690	610	690	690	530	230
Blue Energy-centrale (start 2032)						
					980	
Valmeer (incl. doorlaat naar IJ'meer)					690	
Pompturbine - kunstwerk aangepast ESA-ontwerp (WMm)						440
Pompturbine - plaatsen pompen/turbines in ESA (WMm)						220
Doorlaat W'zee-tussenmeer (NA) / tussenmeer-IJ'meer (WMm)					60	50
Energie-elementen - sub totaal	0	0	0	0	1.730	710
Zanddijk (NA en WMm)						
					340	290
Verondieping tussenmeer					210	400
Vispassage brakmeer - IJsselmeer (WMm)						?(b)
Natuur – sub totaal, excl '?’	0	0	0	0	550	690
Subtotaal (excl. ?)	1.330	1.080	1.250	1.320	3.440	2.180
Werkhypothese : extra pompen						
	300	300	300	300	210	70
Energie (kosten en opbrengsten):						
Opbrengst blue energy (start 2032, bovengrens)					-950	
Opbrengst Valmeer (bovengrens)					-50	
Verbruik pompturbines WMm (bovengrens)						20
Opbrengst pompturbines WMm (bovengrens)						-10
Energieverbruik extra pompen (vanwege werkhypothese)	10	10	10	10	10	0
subtotaal energie (negatief = energieopbrengst)	10	10	10	10	-980	10
Kosten beheer						
	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)	?(a)
Mitigerende/compenserende maatregelen	0	0	0	?(b)	0	0
Totaal, excl. '?’	1.640	1.390	1.560	1.630	2.670	2.260
Verschil t.o.v. 21R (positief = lagere kosten)	ref	250	80	10 - ?(b)	-1.030	-610-?(b)

* Prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

Totale kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro.

Negatieve bedragen duiden op 'inkomsten' in plaats van 'kosten'.

(a) De beheerskosten zijn niet bekend ('?'), maar er zijn geen redenen om significante verschillen tussen de kernen te veronderstellen.

(b) Deze kosten zijn niet bekend, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend.

6.2.4 Bespreking contante kosten mogelijkheden dijklichaam

Zoals valt op te maken uit Tabel 6.2 vereffent de contante waarde van de onderhoudskosten voor WaddenWerken het verschil in nominale investeringskosten met 2100-Robuust (nominaal verschil 90 mln euro) bijna geheel.

Uitstel van het verhogen van de dijk en het vernieuwen van de kunstwerken (spui- en schutsluizen) resulteert in een lagere contante waarde van de kosten. Daarom heeft Basisalternatief zo'n 250 mln euro (CW) lagere kosten dan de kernen van 2100-Robuust, Monument in Balans en WaddenWerken, zie Tabel 6.2. De dijkoplossing van Basisalternatief (overslagbestendig maken tot 2050 en dan ophogen) pakt iets goedkoper uit (verschil 10 mln euro CW) dan WaterMachine (idem, maar dan in 2065). De contante waarde van de kosten van het dijklichaam voor WaterMachine en Monument in Balans zijn vergelijkbaar. Het stormschild van Monument in Balans is daarmee de 'goedkoopste' dijkoplossing om in één keer de Afsluitdijk aan de 1/10.000-norm te laten voldoen tot en met het jaar 2100. De dijkoplossing van 2100-Robuust en WaddenWerken voldoen ook in één keer aan de geldende norm, maar zijn zo'n 80 mln euro (CW) duurder dan het stormschild. Dit verschil (22%) valt nog net binnen de onzekerheidsmarge van 25% die bij de kostenraming is gehanteerd.

Op het Intellectueel Eigendom van het stormschild van Monument in Balans rusten mogelijk royalty's (Rijkswaterstaat, 2010, p. 32). De kans en omvang hiervan is nog niet vastgesteld, maar ze kunnen ten laste komen van Rijkswaterstaat en daarmee de Nederlandse belastingbetaler. Aangezien deze royalty's waarschijnlijk ten goede komen aan een Nederlandse partij, betreft dit een verdelingseffect en niet een welvaartseffect voor Nederland als geheel. Eventuele kosten voor royalty's komen bovenop de genoemde bedragen.

6.2.5 Schutsluizen

De gekozen oplossingen voor de schutsluizen verschillen amper tussen de kernen. Alleen Basisalternatief heeft weer als aanpak eerst renoveren en daarna pas nieuwbouw (in 2050). Dit leidt tot de eerder genoemde vermindering van de contante waarde van de kosten.

Qua spuisluizen (inclusief ESA) verschillen de kernen in iets grotere mate. Ook hier volgt Basisalternatief weer de strategie van eerst renovatie en later nieuwbouw. Dat leidt ook hier tot een lagere contante waarde van de kosten. De kernen Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine kunnen – door de mogelijkheid tot pompen vanaf het jaar 2020 – toe met minder spuisluizen. Daarom zijn de kosten voor spuisluizen bij deze kernen dan ook lager dan bij de andere kernen.

Tegenover de lagere kosten voor spuisluizen voor Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine staan hogere kosten in 2020 voor pompinstallaties. Doordat er al in 2020 pompen worden aangelegd hoeven er – conform de werkhypothese (zie paragraaf 3.3) – vanaf 2035 minder additionele pompen gebouwd te worden. Daarnaast zijn er de kosten voor natuur, aangezien de pompinstallaties bij beide kernen daarmee worden gecombineerd.

6.2.6 Blue energy-centrale en Valmeer

Uit Tabel 6.2 volgt dat het niet onmogelijk is dat een blue energy-centrale zichzelf ongeveer terugverdient bij de veronderstelde kWh-prijs van 7,6 cent (incl. 19% btw) en discontovoet van 5,5%. De kosten voor de bouw en de opbrengsten uit elektriciteit bedragen respectievelijk 980 en 950 mln euro. Hierbij is uitgegaan van de realisatie van een dergelijke 200 MW centrale in 2032. Een eerdere realisatie van een dergelijk grootschalige centrale is niet realistisch. De genoemde kosten en opbrengsten van de blue energy-centrale zijn onderhevig aan grote onzekerheden (zie paragraaf 6.1). Daarnaast bestaat er onzekerheid rond de gehanteerde kWh-prijs. Een onderbouwde uitspraak over de haalbaarheid van een blue energy-centrale kan mogelijk pas rond 2030 gedaan worden, gezien de grote mate van afhankelijkheid van de ontwikkelingen tussen 2020 en 2030.

Voor het Valmeer liggen de kosten beduidend hoger dan de opbrengsten. Het Valmeer is daarmee economisch onrendabel. Het Valmeer is met 690 mln euro (CW) aan kosten vele malen duurder dan de opbrengst uit elektriciteit: 50 mln euro (CW). Deze opbrengst uit energie komt door het verschil in nacht- en dagstroomtarief. De achterliggende gedachte hierbij is dat overtollige energie die 's nachts – met conventionele centrales zoals kolen en/of met windenergie – wordt opgewekt als basislast overdag toch kan worden ingezet tijdens een piekbelasting ('peak shaving').

Per saldo gebruikt het Valmeer méér (dalstroom-)energie dan dat het oplevert aan (dagstroom-)energie. Door het verschil in tarief tussen piek en dal ontstaan er toch positieve opbrengsten. Dit positieve saldo kan aanleiding vormen tot een uitbreiding van conventionele capaciteit. Daarom kan het Valmeer leiden tot meer CO₂-uitstoot (Lako et al., 2010, p.22). De oorspronkelijke gedachte achter het Valmeer was om overtollige elektriciteit uit bijvoorbeeld een grootschalige toepassing van windenergie tijdelijk op te slaan. Volgens Lako et al. (2010, p. 22) is het vermogen aan windenergie in Nederland voornamelijk onvoldoende en bestaan er bovendien alternatieven voor het Valmeer die waarschijnlijk rendabeler zijn, zoals warmteopslag of een hoogspanningsverbinding met Noorwegen (waar de energie tijdelijk wordt opgeslagen middels waterkrachtcentrales).

Voor een nadere toelichting op de berekening van de kosten en opbrengsten uit energiegerelateerde basiselementen, zie bijlage B.

6.2.7 Getijcentrale/pomp in WaterMachine

De bouw van een pompturbinevoorziening (gemaal annex getijcentrale; kunstwerk plus pompturbines) bij de kern WaterMachine kost aan aanleg en onderhoud meer dan twee keer zoveel als ESA, indien wordt uitgegaan van een omgebouwde spuisluis (aangepast ESA-ontwerp): 660 mln euro (CW). Eenderde van dit bedrag, 220 mln euro, komt voor rekening van de pompturbines. Tweederde heeft betrekking op de kosten van het kunstwerk, 440 mln euro, wat overeenkomt met 140 mln euro aan extra kosten voor het kunstwerk ten opzichte van het oorspronkelijke ESA-ontwerp (300 mln euro, CW).

De energieopbrengst van een dergelijke pompturbinevoorziening als getijcentrale is beperkt: maximaal 10 mln euro (CW). Daarvoor moet echter niet alleen de pompturbine zelf aangelegd worden, maar ook een tussenmeer (bijna 300 mln euro CW). Het realiseren van getijenergie is op basis van economische argumenten alleen te overwegen als facultatieve aanvulling indien deze beide voorzieningen (d.w.z. pomp en tussenmeer) om andere redenen worden aangelegd. De meerkosten van de mogelijkheid tot 'turbineren' bovenop de genoemde bedragen voor pompen zijn namelijk nihil.

Door Rol (2010) wordt bij het ontwerp van een omgebouwd ESA aangetekend dat het niet een optimaal ontwerp voor een gemaal betreft. Een optimaal ontworpen gemaal kan resulteren in een kostenreductie van 20% in nominale kosten tot 500 mln euro (in contante waarde 535 mln euro). De reductie in contante kosten van een optimaal gemaal (inclusief onderhoud) bedraagt eveneens ongeveer 20%. Omdat dit optimale gemaal een 10% grotere pompcapaciteit (1.000 m³/s i.p.v. 900 m³/s) heeft, kan ook gesproken worden van een overall kostenreductie van zo'n 30%.

De gerealiseerde pompvoorziening in een aangepast ESA-ontwerp heeft een maximale capaciteit van 900 m³/s. Dit is bijna tweemaal het jaargemiddelde van waterafvoer van 500 m³/s. De energiekosten van het pompen van IJsselmeerwater naar de Waddenzee zijn beperkt: 20 mln euro (CW, inclusief kosten additionele CO₂-uitstoot). Omdat het nog vrij lang mogelijk moet zijn om een groot gedeelte van het IJsselmeerwater te blijven spuien onder vrij verval, is hierbij gerekend met een gemiddeld pompdebiet dat tussen 2020 en 2060 geleidelijk oploopt naar 500 m³/s. Dit komt overeen met het volledig wegpompen van het overtollige IJsselmeerwater (dus gemiddeld 500 m³/s) vanaf 2060.

Het realiseren van alléén een pompvoorziening (en dan dus zonder mogelijkheid van getijenergie en zonder het daarvoor noodzakelijke tussenmeer) is een interessant basiselement. De méérkosten zijn relatief beperkt: het verschil tussen ESA en een optimaal gemaal (zonder energiekosten) bedraagt 235 mln euro (CW). Een pomp biedt – in tegenstelling tot een spuisluis – de mogelijkheid om onder vrijwel alle weersomstandigheden en klimaatscenario's forse hoeveelheden zoet water af te voeren. Een aantrekkelijke gedachte (Rol, 2010) is het ontwerpen van een pompgemaal dat aanvankelijk ingezet kan worden als spui, waarbij de pompen één voor één worden gemonteerd, afhankelijk van de werkelijke zeespiegelstijging en de hoeveelheid af te voeren IJsselmeerwater.

6.2.8 Natuurelementen

De kosten voor natuurontwikkeling in de vorm van een verondiept⁴⁷ tussenmeer zijn volgens Tabel 6.2 voor Natuurlijk Afsluitdijk 550 mln euro (CW) en voor WaterMachine 690 mln euro (CW). Van dit bedrag komt respectievelijk 40% (Natuurlijk Afsluitdijk) en 60% (WaterMachine) voor rekening van verondieping. Er is wat onduidelijkheid over de kosten van verondieping bij Natuurlijk Afsluitdijk. Mogelijk vallen die hoger uit (zie bijlage C). Een optie voor vervolgonderzoek is de aanleg van een tussenmeer zonder de verondieping.

Om een vergunning te kunnen krijgen in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 voor de realisatie van de kernen van WaddenWerken, Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine zijn aanvullende '*mitigerende en compenserende maatregelen*' een noodzakelijke voorwaarde (edoch niet een voldoende voorwaarde). Voor een meer gedetailleerde bespreking van de maatregelen en de kans om een vergunning, zie paragraaf 6.6. Met het treffen van mitigerende maatregelen om negatieve natuureffecten zoveel als mogelijk te beperken, zijn kosten gemoeid.

De kosten voor mitigatie/compensatie in WaddenWerken zijn voor een deel niet bekend ('?'). De zandnok in de Waddenzee bij deze kern tast het foerageergebied van niet-broedvogels (o.a. toppereend) aan. Mitigatie/compensatie van deze aantasting is mogelijk door de aanleg van 'kwelders' en 'luwtebanken'. De kosten hiervan zijn niet bekend. De aanleg van een zandnok in de Waddenzee resulteert ook in een afname van het oppervlak aan 'permanent overstroomde zandbanken'. Mitigatie/compensatie hiervan lijkt niet mogelijk.

Voor Natuurlijk Afsluitdijk bedragen de nominale kosten voor mitigatie/compensatie maximaal ruim 6 mln euro en voor WaterMachine ruim 1 mln euro. De contante waarde voor beide kosten bedraagt (afgerond op tientallen) 0 mln euro.

6.2.9 Conclusies

Samenvattend kan worden gesteld dat de totale kosten (contante waarde, CW) voor de combinatie van waterveiligheid en waterbeheer voor 2100-Robuust, Monument in Balans en WaddenWerken rond de 1.300 mln euro (CW) liggen (exclusief de kosten voor de gemalen uit de werkhypothese, maar inclusief ESA). De kostenverschillen tussen deze drie kernen komen door andere invullingen van het dijklichaam. Het stormschild van Monument in Balans blijkt zo'n 80 mln euro (CW) goedkoper dan de dijkoplossing van de het referentiealternatief 2100-Robuust en de kern WaddenWerken. Een stapsgewijze aanpak (eerst renovatie dan nieuwbouw) van het dijklichaam en de kunstwerken van de huidige Afsluitdijk, zoals wordt voorgesteld in de kern van het Basisalternatief, resulteert in een besparing van zo'n 250 mln euro (CW).

Van de energieopties lijkt enkel de blue energy-centrale mogelijk rendabel. Dit is wel sterk afhankelijk van de toekomstige technologische ontwikkeling en lijkt pas mogelijk rond 2030. Het Valmeer is economisch zeer onrendabel. Ook het opwekken van getijenergie levert onvoldoende op om daarvoor substantiële investeringen te rechtvaardigen.

De kosten voor natuurontwikkeling in de vorm van een verondiept tussenmeer (incl. doorlaatwerk) bedragen zo'n 610-740 mln euro (CW). Deze kosten worden voor 35-55% veroorzaakt door het verondiepen.

Ten opzichte van het referentiealternatief 2100-Robuust zijn de uitgebreide kernen van Natuurlijk Afsluitdijk (+1.030 mln euro) en WaterMachine (+610 mln euro) veel duurder. Dit komt omdat veel van bovenstaande energie-, natuur- en pompelementen in deze kernen worden gecombineerd. Zoals uit bovenstaande bespreking blijkt, levert een gedetailleerde beschouwing van de individuele elementen interessante bouwstenen op.

Het realiseren van een pompinstallatie met een capaciteit van 1.000 m³/s, is een relatief goedkoop element (500 mln euro nominaal ten opzichte van 300 mln euro voor ESA). De energie- en CO₂-kosten van het pompen van IJsselmeerwater naar de Waddenzee zijn beperkt (20 mln euro CW). Het nut van de aanleg van nieuwe spuisluizen (Den Oever,

⁴⁷ Omwille van een estuarien karakter en daarmee een verbeterde natuurkwaliteit wordt op de plaats van het tussenmeer de bodem van het huidige IJsselmeer opgehoogd. Deze ophoging wordt aangeduid met 'verondieping'.

Kornwerderzand en ESA, totale kosten 690 mln nominaal) lijkt in belangrijke mate af te hangen van de keuze om op lange termijn te IJsselmeerwater te blijven spuien of weg te pompen en van de feitelijke zeespiegelstijging. Bij het gehanteerde W+-scenario en de (werk)hypothese dat gekozen wordt voor een gelijkblijvend IJsselmeerpeil, lijken deze grootschalige investeringen in spuicapaciteit economisch niet optimaal. De verschillende geïdentificeerde opties voor hybride kunstwerken (zie zowel als spui als, na ombouw, als pomp ingezet kunnen worden), verdienen beslist nader onderzoek. In hoofdstuk 8 wordt nader verkend welke besparingen mogelijk zijn bij andere keuzes voor spuisluizen en pompen t.o.v. de in de tabellen gepresenteerde kernen. Ook wordt dan ingegaan op de kosten van pompen en/of spuien bij andere klimaatscenario's.

6.3 Flexibiliteit van kernen voor zeespiegelstijging

6.3.1 Inleiding

De kernen verschillen in de mate van flexibiliteit ten aanzien van een andere ontwikkeling dan de veronderstelde zeespiegelstijging (+85cm in 2100 t.o.v. heden conform het W+-scenario). Belangrijk om te beseffen is dat alle kernen aan te passen zijn aan een andere (hogere of lagere) zeespiegelstijgingen dan in het basisscenario (W+) is verondersteld. Daarom is het mogelijk om de mate van flexibiliteit van een kern in geld uit te drukken. Bij een sterkere zeespiegelstijging dient te worden bekeken welke additionele investeringen nodig zijn, of welke investeringen eerder moeten worden uitgevoerd. Bij een minder sterke zeespiegelstijging kunnen investeringen mogelijk worden uitgesteld, of zijn tot 2100 niet meer nodig. De minderkosten (bij een 'lage' zeespiegelstijging) en méérkosten (bij 'hoge' zeespiegelstijging) zijn dus uit te rekenen en zijn tevens een goede concretisering van het begrip 'flexibiliteit'.

Indien de kansverdeling over de zeespiegelstijging bekend zou zijn, dan is het mogelijk om de *verwachte* méér- of minderkosten uit te rekenen. De flexibiliteit van de kernen voor zeespiegelstijging zou dan gemonetariseerd in één bedrag meegenomen kunnen worden in de KEA. Hoewel er onderzoek naar een dergelijke kansverdeling gaande is bij het CPB, zijn deze gegevens nog niet beschikbaar. De waarde van flexibiliteit wordt in de wetenschappelijke literatuur veelal de reële optiewaarde genoemd.

De rest van deze paragraaf is als volgt. Eerst wordt in algemene bewoordingen de aanpak besproken om de flexibiliteit te kunnen bepalen. Daarna wordt gedetailleerd uitgelegd wat we exact onder flexibiliteit verstaan en welke berekeningen uitgevoerd worden. De aanpak om de waarde van flexibiliteit te kunnen bepalen, vereist inzicht in de minimale en maximale zeespiegelstijging tot 2100. Die stijgingen worden daarom besproken. Aan het eind van deze paragraaf worden de conclusies ten aanzien van flexibiliteit gepresenteerd. De uitgevoerde berekeningen die de conclusies onderbouwen staan in bijlage E.

6.3.2 Aanpak om de waarde van flexibiliteit te bepalen

Om de waarde van flexibiliteit te bepalen worden de minder- en méérkosten van de kernen bekeken bij twee extreme scenario's voor de zeespiegelstijging. We beschouwen een scenario dat 'aan de onderkant van de bandbreedte ligt' en een scenario dat 'aan de bovenkant ligt'. Zonder hiermee te willen suggereren dat de feitelijke zeespiegelstijging niet buiten deze bandbreedte zou kunnen blijven te liggen. De waarde van flexibiliteit wordt afgeleid uit de minder- en méérkosten van de kernen bij beide scenario's. Indien een kern 'tegen relatief hogere meerkosten' moet worden aangepast bij een hogere zeespiegelstijging, dan is deze kern dus 'minder flexibel' en de waardering van deze mindere flexibiliteit is dan de relatief hogere méérkosten. Hetzelfde gaat op indien bij een lagere zeespiegelstijging er bij een bepaalde kern relatief weinig kosten alsnog te vermijden zijn. Ook dan kan deze kern als 'minder flexibel' worden getypeerd, en de waardering van deze mindere flexibiliteit is dan de relatief lagere minderkosten. Tot slot kan de toekomstige zeespiegelstijging zich ontwikkelen conform het veronderstelde (basis) W+-scenario. Dan zijn alle voorziene maatregelen nodig en zullen de uiteindelijke kostenverschillen tussen de kernen gelijk zijn aan de verschillen zoals onder andere in Tabel 5.1 worden weergegeven.

De waarde van flexibiliteit wordt weergegeven als een bandbreedte gebaseerd op de bovenstaande drie scenario's. De onderkant van de bandbreedte wordt bepaald door het minimum, de bovenkant van de bandbreedte door het maximum.

De *verwachte* waarde zal, onder plausibele aannamen over de waarde van flexibiliteit bij andere dan de drie beschouwde scenario's (zie bijlage E), tussen beide liggen en dus *ergens* in het berekende interval. Het valt op dit moment niet vast te stellen *waar* de verwachte waarde van flexibiliteit ligt binnen dit interval.

6.3.3 Gedetailleerde uitleg van de operationalisering van het begrip 'flexibiliteit'

In deze paragraaf worden het begrip flexibiliteit en de uitgevoerde berekeningen uitgelegd op basis van een getallenvoorbeeld. De definitie van flexibiliteit is de '*het additionele verschil in verwachte aanleg-, onderhoud en energiekosten*' van een kern, gegeven de mogelijke – onzekere – ontwikkelingen rond de zeespiegelstijging. Het betreft een additioneel verschil ten opzichte van het in de vorige paragraaf weergegeven kostenverschil tussen de kernen bij het W+-scenario.

We beschouwen drie scenario's voor de zeespiegelstijging: een 'laag' scenario, het W+-scenario en een 'hoog' scenario. De kosten voor de kernen 2100-Robuust en Basisalternatief voor deze drie scenario zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6.3 Totale aanleg-, onderhoud en energiekosten (contant) bij drie scenario's voor de zeespiegelstijging

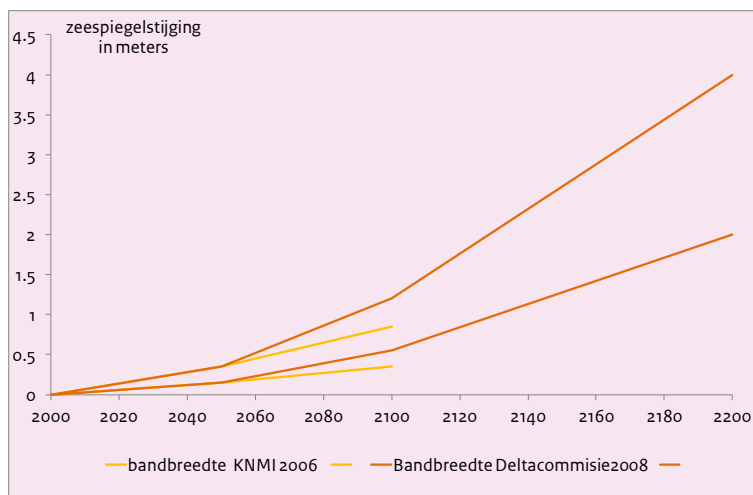
	'Laag'	W+	'Hoog'
	mln euro, prijspeil 2009		
2100-Robuust	1.370	1.640	1.660
Basisalternatief	1.030	1.390	1.340
Minderkosten Basisalternatief t.o.v. 2100-Robuust	330	250	320

Uit deze tabel valt op te maken dat Basisalternatief 250 à 330 mln euro goedkoper is dan 2100-Robuust. Het *verwachte* kostenverschil zal dus *ergens* in dit interval liggen. In deze KEA worden echter alle effecten uitgedrukt ten opzichte van de kern 2100-Robuust bij het W+-scenario. In het W+-scenario is Basisalternatief 250 mln euro goedkoper. Dit bedrag valt ook terug te vinden in bovenstaande tabel en in Tabel 5.1 (de overzichtstabel). Gegeven dit 'standaard' verschil van 250 mln euro is er dus nog een *additioneel* kostenvoordeel mogelijk van tussen de 0 en 80 mln euro. Opgeteld wordt hiermee weer het eerstgenoemde interval van tussen de 250 en 330 mln verkregen. De waarde van flexibiliteit in Tabel 5.1 en Tabel 6.4 wordt voor Basisalternatief dus weergegeven als "0 à 80 mln". Zie bijlage E voor de overige berekeningen en nadere uitleg.

6.3.4 Boven- en onderkant bandbreedte zeespiegelstijging

De scenario's van het KNMI en de Deltacommissie (Klein Tank en Lenderink, 2009) brengen een bandbreedte van de zeespiegelstijging in kaart. De Deltacommissie-scenario's voor de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust in 2100 schetsen een 'plausibele bovengrens' van de mogelijkheden (55 tot 120 cm, exclusief 10 cm bodemdaling). De KNMI'o6-scenario's beschrijven de meest waarschijnlijke uitkomsten (35 tot 85 cm, exclusief bodemdaling). Ondanks het verschil in insteek hanteert de Deltacommissie tot het jaar 2050 eenzelfde bandbreedte als het KNMI. Na 2050 komt de 'bovengrens' van de Deltacommissie pas boven de 'waarschijnlijke' KNMI-scenario's te liggen (zie Figuur 6.1).

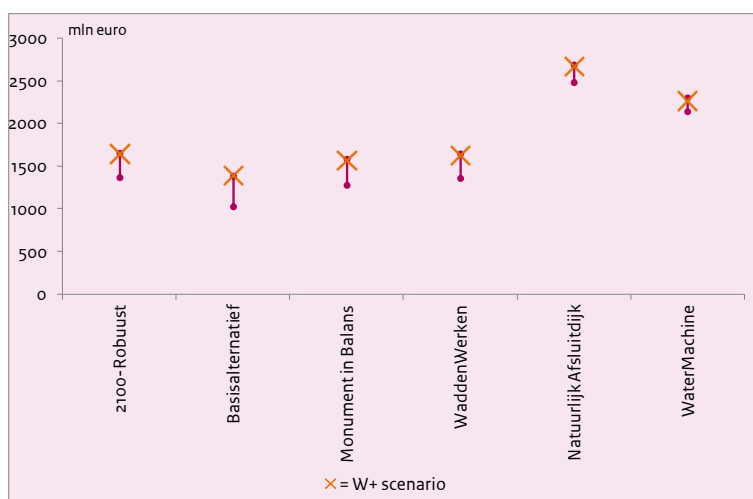
Figuur 6.1 Bandbreedtes zeespiegelstijging tot 2100 conform KNMI en Deltacommissie



Bron: Klein Tank en Lendering (2009).

Op basis van deze informatie wordt de onderkant ('laag' genoemd) van de bandbreedte gesteld op een zeespiegelstijging van 15 cm in 2050 en 35 cm in 2100. Als bovenkant ('hoog' genoemd) van de bandbreedte wordt uitgegaan van een zeespiegelstijging van 35 cm in 2050 en 120 cm in 2100. Voor elke kern is – op basis van beschikbare kennis en een inschatting van het CPB – nagegaan welke minder- en méérkosten logisch volgen uit deze lagere cq. hogere zeespiegelstijging. Hierbij wordt alleen gekeken naar de aanleg-, investerings- en energiekosten van de kernen. De veranderingen staan beschreven in bijlage E. In deze bijlage staat ook een gedetailleerd overzicht van de contante waarde van de investeringskosten van de kernen bij de verschillende scenario's. De bandbreedtes van de verkregen investeringskosten staan weergegeven in Figuur 6.2. De waarde van flexibiliteit wordt hiervan afgeleid.

Figuur 6.2 Aanleg-, onderhoud en energiekosten kernen bij verschillende scenario's*



* Bandbreedte bij scenario 'laag' en 'hoog', in contante waarde, marktprijzen, prijspeil 2009.

6.3.5 Conclusie: De waarde van flexibiliteit

De aldus berekende waarde van flexibiliteit staat weergegeven in onderstaande tabel en is eveneens weergegeven in Tabel 5.1.

Tabel 6.4 De waarde van flexibiliteit op basis van verschillen in minder- en méérkosten t.o.v. 2100-Robuust bij andere scenario's*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Baten flexibiliteit	ref	o à 8o	o	o	-8o à o	-16o à o
* In contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen.						

De belangrijkste conclusie is dat de kernen veelal in gelijke mate kunnen worden aangepast voor andere zeespiegelscenario's. De verschillen in flexibiliteit zullen niet leiden tot grotere afwijkingen van de kostenverschillen uit het W+-scenario dan 170 mln euro.

Basisalternatief heeft een positieve waarde voor flexibiliteit. Dit betekent dat deze kern 'eenvoudiger' is aan te passen aan een andere zeespiegelstijging. Het maximale kostenvoordeel hiervan is 8o mln euro (contante waarde). Dit komt omdat deze kern in 2020 de Afsluitdijk overslagbestendig maakt. Als de zeespiegelstijging meevalt, dan hoeft de dijk niet nogmaals verhoogd te worden in 2050 zoals wel het geval is bij het W+-scenario. Dit zorgt voor de extra besparing ten opzichte van 2100-Robuust van 8o mln euro.

De flexibiliteit van de kernen Monument in Balans en WaddenWerken is gelijkwaardig aan die van 2100-Robuust, vandaar de typering 'o'. De kunstwerken (spui- en schutsluizen en pompen) van deze drie kernen zijn identiek. Ook hebben deze drie kernen alle drie de strategie om in 2020 het dijklichaam tot het jaar 2100 op het vereiste niveau te brengen voor het W+-scenario. Wel verschillen de nominale kosten van een tweede dijkverhoging tussen de drie kernen. Doordat deze tweede ophoging zelfs bij het hoge scenario pas in 2080 nodig is, is dit niet terug te zien in de contante waarde (afgerond op 10-tallen miljoenen).

De waarde voor flexibiliteit voor Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine is negatief. Dit komt doordat bij een lagere zeespiegelstijging dan W+ er bij 2100-Robuust méér bespaard kan worden dan bij deze twee kernen. Bij het W+-scenario dient er in 2100-Robuust een extra pomp van 1.000 m³/s geplaatst te worden in 2035 en in 2060. Bij een lagere zeespiegelstijging kunnen deze pompen veel later (of niet) geplaatst worden. Omdat Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine hoe dan ook pompen plaatsen in 2020, hoeven ze volgens het W+-scenario in 2035 minder pompcapaciteit bij te plaatsen. Bij een lagere zeespiegelstijging vervalt het nadeel van 2100-Robuust van deze extra grote pomp, waardoor de besparing daar groter is dan bij Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine.

6.4 Baten (over)veiligheid

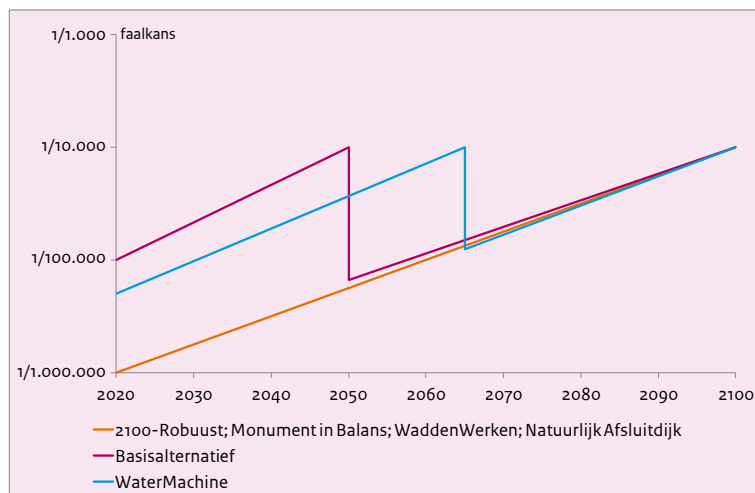
De kernen bieden allemaal een veiligheid die minimaal voldoet aan de huidige wettelijke norm. Dit betekent dat de Afsluitdijk waterstanden moet kunnen keren tot een peil waarvoor de kans dat deze in een jaar wordt overschreden, maximaal gelijk is aan 1 op 10.000. Maar de kernen verschillen wel in de mate van veiligheid die wordt geboden. Sommige kernen zijn veiliger dan anderen. Ze bieden als het ware wat *over*veiligheid. In deze paragraaf wordt de waarde van deze extra veiligheid in geld uitgedrukt.

Allereerst worden daartoe de absolute veiligheid van de kernen en de onderlinge verschillen in veiligheid besproken. Vervolgens bespreken we de vier schadebedragen die samen de totale verwachte schade omvatten als gevolg van het falen van de Afsluitdijk en/of dijkringen rond het IJsselmeer en het Markermeer. Daarna worden direct de resultaten gepresenteerd. Een uitgebreide toelichting op de berekeningen staat in bijlage H. Deze paragraaf eindigt met een conclusie over de baten van (over)veiligheid.

6.4.1 De absolute veiligheid van de kernen en de onderlinge verschillen in veiligheid

De veiligheid van de kernen wordt weergegeven in Figuur 6.3

Figuur 6.3 Veiligheid van de verschillende kernen in faalkans per jaar gedurende de periode 2020-2100



Uitleg: Op de y-as staat de faalkans weergegeven. De kern 2100-Robuust faalt in 2020 gemiddeld eens in de 1.000.000 jaar: een faalkans van 1/1.000.000. De faalkans van 2100-Robuust stijgt in de loop der tijd door de stijgende zeespiegel.

Uit bovenstaande figuur kan worden afgeleid dat de kernen 2100-Robuust (21R), Monument in Balans (MiB), Natuurlijk Afsluitdijk (NA) en WaddenWerken (WW) in 2020 een hoge mate van veiligheid bieden: de faalkans is gelijk aan 1 op 1.000.000. Conform het W+-scenario stijgt de faalkans van de kernen in de loop der tijd door een stijgende zeespiegel. In het jaar 2100 resteert bij dit scenario nog een faalkans van 1 op 10.000.

De kern Basisalternatief (Ba) biedt in 2020 de laagste veiligheid: 1 op 100.000. In 2050 is deze veiligheid teruggelopen naar het (minimale) veiligheidsniveau van 1 op 10.000. In dat jaar wordt bij deze kern de Afsluitdijk verder versterkt opdat eenzelfde veiligheid wordt geboden als onder andere door 2100-Robuust. Daarom daalt de faalkans van Basisalternatief in 2050 in Figuur 6.3.

De kern WaterMachine (Wm) biedt in 2020 een veiligheidsniveau van 1 op 150.000. Bij deze kern wordt het veiligheidsniveau van 1 op 10.000 bij het W+-scenario in 2065 bereikt en moet de Afsluitdijk verder versterkt worden. Vanaf het jaar 2065 bieden dus alle kernen eenzelfde veiligheid.

Gegeven deze verschillen in faalkansen heeft het CPB een analyse gemaakt welke gevolgen het falen van de Afsluitdijk heeft en welke schades hierdoor ontstaan. In samenwerking met Deltares en het projectteam Toekomst Afsluitdijk zijn zoveel als praktisch mogelijk de effecten in kwantitatieve en geldelijke termen uitgedrukt, opdat de waarde van '(over)veiligheid' gemonetariseerd in deze KEA meegenomen kan worden. In deze paragraaf worden de uitgevoerde rekenstappen kort en globaal toegelicht en worden vooral de resultaten en conclusies gepresenteerd. In bijlage H wordt nadere informatie gegeven over de berekeningen.

6.4.2 Vier verschillende schadebedragen

Er zijn vier verschillende schadebedragen onderscheiden die relevant zijn bij het mogelijk falen van de Afsluitdijk.

Allereerst zal bij falen van de Afsluitdijk er *schade aan de Afsluitdijk* zelf ontstaan. De bres die ontstaat zal moeten worden gedicht en dit kost een aanzienlijk bedrag. Omdat het repareren ongeveer een half jaar duurt, kunnen personenauto's, vrachtwagens en openbaar vervoer een half jaar de Afsluitdijk niet passeren en moeten dus omrijden. Als beide schutsluizen zijn doorgebroken dan moeten ook de beroepsvaart en recreatievaart omvaren. Dit leidt tot maatschappelijke schade die in geld uitgedrukt kan worden.

Daarnaast zijn er drie 'faalkansen' onderscheiden die te maken hebben met het mogelijk falen van de dijkringen die grenzen aan het IJsselmeer en Markermeer. Deze kansen worden geduid met de 'P1', 'P2' en 'P3'.

De kans 'P1' betreft de *faalkans van een dijkkring gelegen aan het IJsselmeer of Markermeer bij een goed functionerende Afsluitdijk*. Deze kans (en de bijbehorende verwachte schade) is – per definitie – onafhankelijk van de faalkans van de Afsluitdijk. De faalkans P1 wordt vooral beïnvloed door de hoogte van de dijk, het (fluctuerende!) peil van het IJsselmeer en de weersomstandigheden. Deze kans verschilt niet tussen de kernen. De verwachte schade wordt als volgt berekend: $\text{verwachte schade} = \text{faalkans} \times \text{schade}$.

De kans 'P2' is de *extra faalkans* die ontstaat voor een dijkkring *tijdens dezelfde storm als de Afsluitdijk faalt*. Als er een bres in de Afsluitdijk ontstaat tijdens een storm, dan zal er extra (Waddenzee)water het IJsselmeer in komen. In combinatie met de storm die dan nog voortduurt, is er een verhoogde kans dat dijkringen aan het IJsselmeer doorbreken. Tevens wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat de Houtribdijk (die het IJsselmeer scheidt van het Markermeer) faalt, waardoor ook de dijkringen aan het Markermeer kunnen falen. Ook de extra faalkans P2 wordt uitgedrukt in verwachte schade.

Tot slot is er de kans 'P3'. Dit is de kans dat er extra schade ontstaat tijdens een *vervolg-storm* aan dijkringen rond het IJsselmeer en Markermeer in het half jaar dat de bres in de Afsluitdijk nog niet is gerepareerd. De bres zorgt voor een open verbinding tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Dit zorgt voor een hoger IJsselmeerpeil (mogelijk dan beter aangeduid met 'Zuiderzeepeil') en voor (beperkte) getijwerking. Daarbij stijgt de zeespiegel conform het W+-scenario met 85 cm in 2100 wat zich vertaalt in een (nog hoger) IJsselmeerpeil. Hierdoor neemt de kans op extra schade rond het IJsselmeer en Markermeer uiteraard ook toe. De extra faalkans rond het Markermeer komt weer door het eerst falen van de Houtribdijk, waardoor vervolgens ook de dijkringen aan het Markermeer kunnen falen.

De totale faalkans van een dijkkring gelegen aan het IJsselmeer en Markermeer kan worden bepaald door de drie kansen op te tellen: $\text{totale faalkans} = P1 + P2 + P3$. Door de verwachte schades die horen bij deze kansen op te tellen bij de eerst genoemde kostenpost 'Schade Afsluitdijk: reparatie bres en schade vanwege vaar- en wegverbinding' wordt de totale verwachte schade per kern berekend.

Bij de berekeningen is rekening gehouden met jaarlijks wijzigende faalkansen en schades en met het feit dat aan het IJsselmeer en Markermeer meerdere dijkringen liggen. Per dijkkring zijn er veelal weer enkele dijkkringtrajecten onderscheiden. Een dijkkring faalt op het 'zwakste' dijkkringtraject. Er zijn dus zeer veel berekeningen uitgevoerd: 6 kernen \times 3 faalkansen \times 80 jaar \times 7 dijkkringgebieden \times gemiddeld zo'n 3 trajecten per dijkkring = ruim 30 duizend combinaties.

6.4.3 Resultaten waardering (over)veiligheid

Tabel 6.5 geeft de verwachte schadebedragen weer van de kernen voor de vier onderscheiden schadebedragen. De bedragen staan zowel weergegeven in nominale waarde als in contante waarde. De onderste regel van deze tabel staat ook weergegeven in Tabel 5.1: de overzichtstabel van de KEA Afsluitdijk. Hieruit blijkt dat de verschillen in veiligheid tussen de kernen in contante waarde beperkt zijn. De kernen Basisalternatief en WaterMachine bieden een lagere veiligheid; de verwachte extra schade bedraagt echter maar zo'n 30 mln euro. De kernen Monument in Balans, WaddenWerken en Natuurlijk Afsluitdijk bieden eenzelfde veiligheid als 2100-Robuust.

Tabel 6.5 Verwachte schade (=kans x gevolg) bij falen dijkringen (a-keringen) rondom het IJsselmeer en Markermeer vanwege verschillende gevolgen

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Nominaal, inclusief btw	mln euro, pp.2009, nominaal, totaal 2020-2100					
Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding	1	2	1	1	1	1
P1: faalkans bij goed functionerende Afsluitdijk	4.283	4.283	4.283	4.283	4.283	4.283
P2: extra faalkans tijdens zelfde storm	148	192	148	148	148	221
P3: extra faalkans (evt. nogmaals) tijdens 'vervolg'-storm	171	413	171	171	171	458
Totaal	4.603	4.890	4.603	4.603	4.603	4.962
Contante Waarde	mln euro, pp.2009, incl. btw, CW2015, 2020-2100					
Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding	0	0	0	0	0	0
P1: faalkans bij goed functionerende Afsluitdijk	587	587	587	587	587	587
P2: extra faalkans tijdens zelfde storm	4	14	4	4	4	12
P3: extra faalkans (evt. nogmaals) tijdens 'vervolg'-storm	6	21	6	6	6	25
Totaal	596	622	596	596	596	624
	Verschil t.o.v. 2100-Robuust (21R)					
Nominaal, inclusief btw	mln euro, pp.2009, nominaal, totaal 2020-2100					
Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding	ref	1	0	0	0	0
P1: faalkans bij goed functionerende Afsluitdijk	ref	0	0	0	0	0
P2: extra faalkans tijdens zelfde storm	ref	44	0	0	0	73
P3: extra faalkans (evt. nogmaals) tijdens 'vervolg'-storm	ref	242	0	0	0	287
Totaal	ref	287	0	0	0	359
Contante Waarde	mln euro, pp.2009, incl. btw, CW2015, 2020-2100					
Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding	ref	0	0	0	0	0
P1: faalkans bij goed functionerende Afsluitdijk	ref	0	0	0	0	0
P2: extra faalkans tijdens zelfde storm	ref	10	0	0	0	9
P3: extra faalkans (evt. nogmaals) tijdens 'vervolg'-storm	ref	16	0	0	0	19
Totaal	ref	26	0	0	0	27

Uitleg Tabel 6.5

De eerste regel 'Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding' van de tabel betreft de (nominale) verwachte reparatiekosten van de Afsluitdijk en de kosten van omrijden en omvaren gedurende de reparatie. Deze kosten zijn voor 2100-Robuust (21R) 1 mln euro, voor Basisalternatief (Ba) 2 mln euro, etcetera. In contante waarde zijn deze bedragen (afgerond) 0 mln euro. Indien de verschillen ten opzichte van 2100-Robuust worden bepaald, dan heeft Basisalternatief in nominale termen 1mln euro extra verwachte schade. In contante waarde zijn de bedragen zo klein dat het verschil '0 mln euro' wordt.

De tweede regel 'P1' van de tabel betreft de verwachte (nominale) schade bij een goed functionerende Afsluitdijk. Deze schade is voor alle kernen gelijk: 4.283 mln euro. In contante waarde is dit bedrag 587 mln euro. De verschillen ten opzichte van 2100-Robuust zijn in alle gevallen 'nul'.

De derde regel 'P2' betreft de extra faalkans van dijken aan het IJsselmeer en Markermeer tijdens dezelfde storm als de Afsluitdijk faalt. In nominale termen bedraagt de bijbehorende verwachte schade voor 2100-Robuust 148 mln euro. De minder hoge veiligheid van Basisalternatief komt tot uitdrukking in een hoger schadebedrag: 192 mln euro. In het vervolg van de tabel worden deze bedragen wederom ook in contante waarde weergegeven en uitgedrukt als verschil ten opzichte van 2100-Robuust.

De derde regel 'P3' betreft de extra faalkans tijdens een vervolgstorm in de periode dat er een open verbinding is tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. De verwachte schade bedraagt (nominaal) 171 mln euro voor 2100-Robuust en 423 mln euro voor Basisalternatief, etcetera.

Beschouwing van Tabel 6.5

Uit deze tabel blijkt als eerste het grote verschil tussen de (gesommeerde) nominale bedragen over de periode 2020-2100 en de contante waarde bij een discontovoet van 4,7%. De nominale verschillen bedragen zo'n 300 à 350 mln euro tegenover dus de contante verschillen van zo'n 30 mln. Door deze disconteringsvoet tellen toekomstige schades 'minder' mee. Zo telt een schadebedrag dat optreedt in 2040 voor ongeveer 30% mee. Schadebedragen uit 2100 tellen voor 2% mee. Deze weging is conform het kabinetsstandpunt over de risicowaardering van publieke investeringen wat de 'weging' van toekomstige kosten en baten in KBA's bepaalt (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2009).

De schadebedragen worden gedomineerd door de schadebedragen die samenhangen met 'P1: faalkans bij een goed functionerende Afsluitdijk'. Dit betreft de verwachte schade als gevolg van falen van de dijkringen die gelegen zijn aan het IJsselmeer en Markermeer (inclusief bijbehorende meren), indien al deze dijken aan de huidige wettelijke normen voldoen. De eventuele schade van een onveiliger Afsluitdijk wordt bij deze faalkans nog niet beschouwd. Deze faalkans wordt beïnvloed door (extreme) weeromstandigheden die kunnen optreden en (extreem) hoge peilen van het IJsselmeer en het Markermeer. De kans op hoge meerpeilen wordt weer mede beïnvloed door de keuze om overtollig IJsselmeerwater te spuien of te pompen. De keuze voor pompen met de veronderstelde pompcapaciteiten lijkt – mogelijk substantiële – effecten te hebben op de kans dat extreem hoge meerpeilen zich voordoen. Met pompen kan het meerpeil beter worden beheerst opdat een gemiddeld lager meerpeil wordt bereikt. Dit biedt waarschijnlijk belangrijke veiligheidsvoordelen. Kernen die eerder of méér pompcapaciteit bieden, hebben dus een veiligheidsvoordeel ten opzichte van de andere kernen dat niet in de weergeven cijfers tot uitdrukking komt. Het betreft de kernen Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine. Het nader kwantificeren van dit veiligheidseffect van 'pompen' is een belangrijke suggestie voor nader onderzoek. De KBA Norm Afsluitdijk zal ernaar streven dit effect nader te onderzoeken.

De overige gevolgen van het falen van de Afsluitdijk hebben lagere verwachte schadebedragen tot gevolg. Hoewel de schadebedragen bij falen van een a-kering zeer groot zijn (bijvoorbeeld 300 miljard in 2050 voor alle beschouwde dijkringen), zijn de faalkansen P2 en P3 zo beperkt dat de uiteindelijke verwachte schade veel lager is. Dit komt in belangrijke mate doordat in alle kernen de Afsluitdijk een faalkans heeft die – veelal veel – kleiner is dan de faalkans van de achterliggende a-keringen.

6.4.4 Conclusie ten aanzien van de baten van (over)veiligheid

De belangrijkste conclusie ten aanzien van de berekende waarde van (over)veiligheid is dat de onderzochte kernen, uitgedrukt in contante waarde amper verschillen in de veiligheid die wordt geboden. De lagere veiligheid van de kernen Basisalternatief en WaterMachine in de periode tot respectievelijk 2050 en 2065 vertegenwoordigt een verwachte extra schade van zo'n 30 mln euro (contante waarde). Dit komt primair doordat de Afsluitdijk in alle onderzochte kernen en in alle jaren een minimale veiligheid moet bieden van 1 op de 10.000 jaar. Ondanks de soms forse schade bij het falen van dijkringen gelegen aan het IJsselmeer of het Markermeer, zijn de verschillen in verwachte schade (= kans × schade bij falen) beperkt.

In de analyse zijn meerdere pragmatische aannames gemaakt om tot een gemonetariseerde waarde van overveiligheid te komen. In het project KBA Norm Afsluitdijk worden deze aannames nader beschouwd. Verdere studie behoeven in het bijzonder de mogelijke faalkansen van keringen rond het Markermeer/IJmeer en de schade aan de stad Amsterdam (gelegen in dijkkring 14) bij een overstroming vanuit het Markermeer/IJmeer en de faalkansen en schades die kunnen ontstaan nadat een bres in de Afsluitdijk is ontstaan en daardoor een a-kering (dijkring) tweemaal doorbreekt in één winterperiode.

De 'gewone' faalkans bij een verondersteld goed functionerende Afsluitdijk van dijkringen aan het IJsselmeer en Markermeer blijkt bij de onderzochte kernen veruit de grootste verwachte schadebedragen op te leveren.

Bij deze berekeningen van de schade van deze ‘gewone faalkans’ is echter nog niet het effect meegenomen dat het ‘pompen van IJsselmeer water naar de Waddenzee’ waarschijnlijk een hogere veiligheid met zich meebrengt. Door het eerder gaan pompen of méér pompcapaciteit kan het IJsselmeerpeil beter beheerst worden. Dit resulteert in een lager (maximaal) IJsselmeerpeil wat een hogere veiligheid impliceert. In het project KBA Norm Afsluitdijk zal worden getracht deze – waarschijnlijk – additionele baten voor ‘pompen’ nader te concretiseren.

De berekeningen geven inzicht in de totale verwachte schade gedurende de periode 2010-2100 die kan optreden door verschillende faaloorzaken van dijkkringen gelegen aan het IJsselmeer en het Markermeer. Nog niet eerder zijn deze kosten op deze manier in euro’s berekend en inzichtelijk gemaakt. Daarnaast is de analyse van de verwachte schade in de context van twee onderling afhankelijke dijken nieuw. Uit de berekeningen volgt de grote impact die de – door het kabinet voorgeschreven – disconteringsvoet heeft op de gemonetariseerde (contante) waarde die aan toekomstige veiligheid wordt toegekend. Tabel 6.5 biedt hiervoor een overzicht van zowel de nominale als de contante waarden en daarmee inzicht. Hoewel dit bij vele KBA-deskundigen bekend is, is het goed de grote impact van de gebruikte disconteringsvoet te beseffen.

6.5 Strategische zoetwatervoorraad

Er bestaan twee mogelijke negatieve effecten die samenhangen met de strategische zoetwatervoorraad in het IJsselmeer:

1. Afname oppervlakte IJsselmeer door aanleg brak tussenmeer (Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine),
2. Overslag zoutwater vanuit de Waddenzee (waarbij de kernen Basisalternatief en WaterMachine meer *verwachte* overslag over de dijk hebben dan de overige kernen).

Op dit moment is van het IJsselmeer een ‘schijf’ van 20 cm beschikbaar als zoetwatervoorraad. De hoogte van deze schijf wordt bepaald door het verschil tussen het zomer- en het winterstreefpeil. In de zomer is het streefpeil NAP –20 cm, maar het peil mag in deze periode eventueel dalen tot het winterpeil van NAP –40 cm. Bij het huidige oppervlak van het IJsselmeer van 1.200 km² (Rijkswaterstaat Waterdienst en Deltares, 2008) bedraagt de strategische zoetwatervoorraad⁴⁸ in de zomer dus zo’n 240 miljoen m³. Het winterstreefpeil geldt als minimumpeil gedurende het gehele jaar. Een verdere daling is onwenselijk in verband met mogelijke problemen voor de scheepvaart en waterinlaat van de polders. Voor de natuur in het IJsselmeer en de randmeren kan een tijdelijk lager peil zowel positief als negatief uitpakken.⁴⁹ Dit is afhankelijk van het jaargetijde.

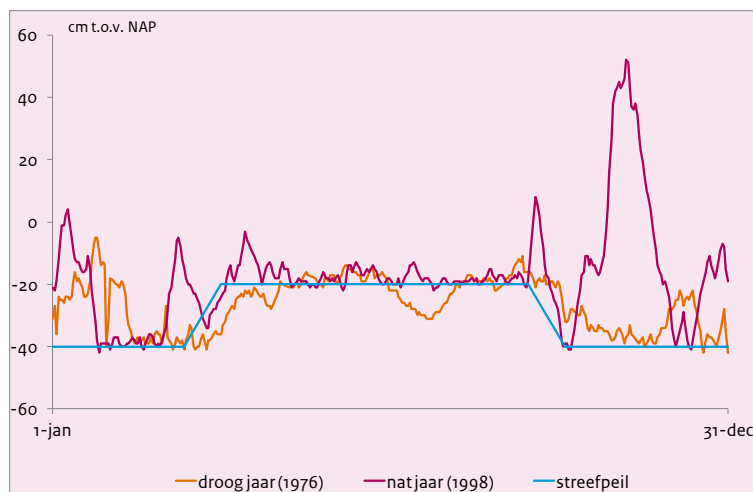
ad (i): afname oppervlak

De aanleg van een tussenmeer resulteert, bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil, in een afname van de zoetwatervoorraad. Voor de kern WaterMachine bedraagt de afname 25 km², ofwel 2% van het huidige IJsselmeer. De afname van het IJsselmeer in Natuurlijk Afsluitdijk bedraagt 32 km², dus 3% van IJsselmeeroppervlakte. In beginsel zou een afname van de bovengenoemde zoetwatervoorraad met 2 à 3% kunnen worden gecompenseerd door een peilopzet van 0,4 à 0,6 cm, opdat de watervoorraad een ‘schijf’ omvat van 20,4 cm bij WaterMachine en 20,6 cm bij Natuurlijk Afsluitdijk.

⁴⁸ Bij een waterstand van NAP bevat het IJsselmeer 5 miljard m³ water. De gemiddelde diepte van het IJsselmeer bij het zomerstreefpeil van –20 cm NAP is dus zo’n 4 meter. Het Markermeer heeft een oppervlakte van 750 km² en bevat bij een waterstand van NAP 2,9 miljard m³ water.

⁴⁹ Gebaseerd op een gesprek met Deltares, 1 februari 2011.

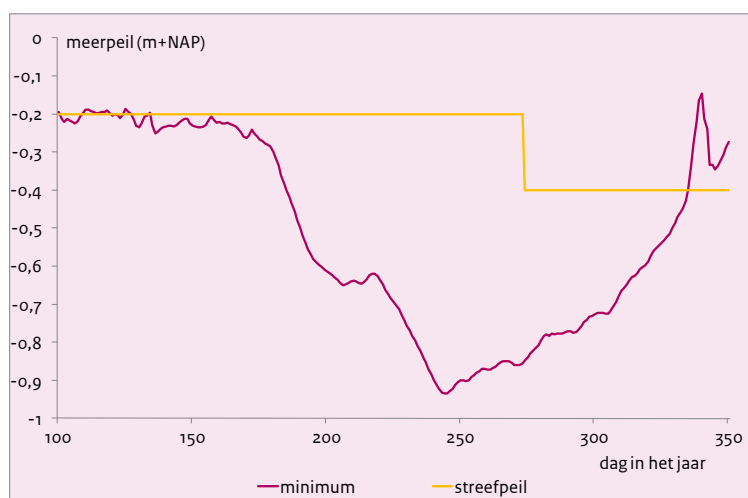
Figuur 6.4 Waterstanden IJsselmeer in meter t.o.v. NAP in een droog en een nat jaar



Bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al. (2010).

Volgens geraadpleegde bronnen bij Rijkswaterstaat en Deltares is de huidige waterschijf van 20 cm tot op heden voldoende. Deze watervoorraad is nog nooit aangesproken. Zelfs in een extreem droog jaar (1976) is slechts 50% van deze waterschijf van 20 cm gebruikt (zie Figuur 6.4). Desondanks kan hieruit niet worden geconcludeerd dat deze schijf van 20 cm ook in de toekomst voldoende is. Uit – zeer pragmatische en daarom mogelijk voor discussie vatbare – simulaties van het IJsselmeerpeil in het W+-scenario voor het jaar 2100 door Deltares (zie Figuur 6.5), blijkt dat er een verlaging van het IJsselmeer wordt gevonden van zo'n 70 cm. Stel dat in de toekomst een waterschijf van 100 cm nodig is, dan kan de genoemde reductie van de zoetwatervoorraad bij WaterMachine en Natuurlijk Afsluitdijk worden gecompenseerd door een peilopzet van 2 à 3 cm.

Figuur 6.5 Minimum IJsselmeerpeil in 2100 in het W+scenario*



*Over 48 simulaties o.b.v. geëxtrapoleerde metingen uit de jaren 1951-1998.
Bron: Beckers et al. (2010), bewerking CPB. Het weergegeven minimum betreft geëxtrapoleerde metingen uit 1976 naar het jaar 2100 in het W+-scenario.

Naast compensatie van de reductie van de zoetwatervoorraad door een peilverhoging (lees: vergroting 'waterschijf') kan er ook worden gekozen de reductie "te accepteren" door of de vraag naar zoet water te reduceren of verder uit te zakken dan het vooraf beoogde minimumpeil. Gezien de grote variatie in het IJsselmeerpeil (zie Figuur 2.1, Figuur 6.4 en Figuur 6.5) is een additionele reductie van enkele millimeters of centimeters binnen enkele dagen weer gecorrigeerd. Een lager dan beoogd peil kan ertoe leiden dat bepaalde (dus niet alle!) schepen gedurende deze paar dagen niet meer sluizen kunnen passeren en/of dat er geen waterinlaat kan plaatsvinden. Ook de natuurschade- of winst van enkele millimeters of centimeters lager IJsselmeerpeil lijkt beperkt, zeker gezien de droogte die er dan tegelijkertijd optreedt.

Kortom: het effect van een verminderde watervoorraad door de kernen WaterMachine en Natuurlijk Afsluitdijk is zo klein dat de typering van een 'gering' negatief effect van toepassing is zoals weergegeven in Tabel 5.1. De overige kernen hebben geen enkel effect op de zoetwatervoorraad (typering 'o').

ad (ii): overslaand zoutwater

De kernen verschillen in de verwachte hoeveelheid overslag van zout water die bij extreme omstandigheden van de Waddenzee in het IJsselmeer terecht komt. In deze paragraaf (en bijlage F) wordt gekwantificeerde informatie gegeven over de omvang van de verschillen in overslag van zout water en worden deze verschillen in perspectief gezet opdat een oordeel mogelijk wordt.

Een direct gevolg van het feit dat de huidige Afsluitdijk niet voldoet aan de huidige wettelijke veiligheidsnorm is dat bij de maatgevende storm (met een kans van 1 op 10.000) er anno 2005 al naar verwachting 60 liter per meter per seconde (l/(ms)) over de Afsluitdijk komt (Regeling, 2010b). Vier van de zes kernen reduceren deze verwachte overslag in sterke mate. De kernen 2100-Robuust, Natuurlijk Afsluitdijk en WaddenWerken reduceren de overslag bij deze maatgevende storm opdat er in het jaar 2100 naar verwachting 10 l/(ms) over de dijk slaat bij de voor dat jaar geldende maatgevende storm (met kans 1 op 10.000). Bij Monument in Balans is de verwachte overslag in 2100 bij de maatgevende storm nog weer substantieel lager, namelijk 1 l/(ms). Vanwege het tussenmeer bij Natuurlijk Afsluitdijk zal pakweg de helft van de overslag terecht komen in het brakke tussenmeer, alwaar waarschijnlijk geen significante schade wordt veroorzaakt. Merk op dat bij sterkere stormen in 2100 dan de maatgevende storm de Afsluitdijk faalt; de gevolgen daarvan zijn uitvoerig behandeld (en gemonetariseerd) in paragraaf 6.4.

Overslag tot 10 l/(ms) lijkt geen groot effect te hebben op de waterkwaliteit van het IJsselmeer. Bij de representatief veronderstelde aanname (Regeling, 2010b) dat de overslag van 10 l/(ms) gedurende 6 uur aanhoudt en optreedt over de gehele lengte van de Afsluitdijk (30 km) komt er zo'n 6,5 mln m³ Waddenzeeewater in het IJsselmeer. Dit behelst een IJsselmeerpeilstijging van zo'n vijf millimeter. Om dit getal in perspectief te plaatsen: een dergelijk hoeveelheid water stroomt gemiddeld elke 3 uur het IJsselmeer in via de gebruikelijke aanvoerbronnen (zo'n 70% via de IJssel). Als het nieuwe water het zoute water als eerste naar 'buiten' zou duwen, dan zou dus al na 3 uur al het zoute water verdwenen zijn. In de praktijk lijkt dit geen realistische aanname. Hoewel niet bekend is hoe deze zoute overslag mengt met het zoete IJsselmeerwater, kan wel worden berekend welk zoutgehalte het IJsselmeer als geheel zou krijgen indien het zoute water zich volledig verspreid over het gehele IJsselmeer. In dat – eveneens onrealistische – geval zou het zoutgehalte van het IJsselmeer niet merkbaar veranderen: het zoutgehalte is en blijft 0,2 ‰. Water met een zoutgehalte tot 0,5 ‰ wordt aangeduid als 'zoet'. Jaarlijks stroomt er overigens (ruim) driemaal zoveel water het IJsselmeer in als het meer zelf bevat. Je zou populair kunnen zeggen dat al het IJsselmeerwater dus na zo'n 100 dagen wordt ververs, hoewel dit wederom afhangt van de menging van oud IJsselmeerwater en het nieuwe ingestroomde water en van 'stromingen' in het IJsselmeer.

De overslag bij Basisalternatief en WaterMachine zal bij een maatgevende omstandigheid (kans 1 op 10.000) fors hoger zijn. De maximale waarde die wordt bereikt bij een maatgevende storm is 125 l/(ms). Deze waarde geldt voor Basisalternatief voor het jaar 2050 (dan wordt de dijk versterkt conform 2100-Robuust) en voor WaterMachine voor 2065 (idem). Bij WaterMachine komt pakweg de helft terecht in het brakke tussenmeer (waarschijnlijk zonder verdere schade). De maximale hoeveelheid zout water bij maatgevende omstandigheid bedraagt dus zo'n 80 mln m³ voor Basisalternatief (in 2050) en 40 mln m³ voor WaterMachine (in 2065). Een dergelijke hoeveelheid water veroorzaakt een IJsselmeerpeilstijging van 7 cm voor Basisalternatief en 3,5 cm voor WaterMachine. Een dergelijk hoeveelheid water komt gemiddeld iedere 2 dagen het IJsselmeer binnen. Al zouden we de – onrealistische – aanname maken dat het zoute water

zich volledig verspreid over het gehele IJsselmeer dan wordt het zoutgehalte bij Basisalternatief 0,6 ‰. Dit valt net binnen de definitie van ‘zwak brak’ water (zoutgehalte tussen 0,5 en 5 ‰). Bij WaterMachine levert deze aanname een zoutgehalte op van 0,4 ‰: dus nog net ‘zoet water’.

Hoe erg zijn de genoemde volumes zout water? Die vraag is moeilijk te beantwoorden, maar een vergelijking met de contante waarde van de schade bij falen van de Afsluitdijk geeft nader inzicht. Bedacht moet worden dat de genoemde volumes zout water optreden met een kans van 1 op 10.000: het betreffen situaties dat er eigenlijk *net niet* iets fout gaat. De genoemde kans geldt – in worst case – ook voor de faalkans van de Afsluitdijk. Dan is het gevolg veel erger dan zoutwateroverslag: er breken dijken door die pas maanden later weer gerepareerd kunnen worden. Ondanks deze vele malen ergere schades bleek uit paragraaf 6.4 dat de *verschillen* in contante waarde van deze *verwachte* schade tussen de kernen beperkt zijn (maximaal 30 mln euro contante waarde). Hierbij zijn de belangrijke schades in geld uitgedrukt op een manier zoals gebruikelijk bij berekeningen over waterveiligheid. Daarom lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat ook de effecten bij niet-falen zeer beperkt zullen zijn. Om het populair te zeggen: als het fout gaat zijn de verschillen tussen de kernen beperkt, dus als het niet fout gaat zal dat ook wel het geval zijn.

Om nader zicht te krijgen op de eventuele schade van overslaand zout water is navraag gedaan bij de Waterdienst van Rijkswaterstaat en bij Deltares. Ook het PlanMER (Grontmij 2010a en 2010b) gaat hier nader op in.

Het PlanMER (Grontmij, 2010a, p.59 en Grontmij, 2010b, p.83) meldt dat de frequentie en volume van overslaand zout water te verwaarlozen zijn. Er worden dus geen effecten verwacht op de waterkwaliteit van het IJsselmeer en hiermee op de soortengroepen die hierin aanwezig zijn. Het PlanMER (Grontmij, 2010a p.63 en Grontmij, 2010b, p.114) meldt echter ook dat er een risico op verzilting bestaat (aanduiding effect met ‘-’) en dat er bij de maatgevende storm van eens in de tienduizend jaar de zoutoverslag zodanig is dat het enkele maanden kan duren voordat de chlorideconcentratie weer op haar oude niveau is.

De Waterdienst geeft met name informatie over het effect op de inlaat van zoet water voor landbouwdoeleinden en drinkwater. Voor landbouwdoeleinden is het effect van overslaand zout water te verwaarlozen. In het stormseizoen (winter) is er namelijk sprake van waterafvoer en niet van waterinname vanuit het IJsselmeer ten behoeve van de landbouw. Het zoute water kan wel het innamepunt voor zoet drinkwater bereiken (PWN Waterleiding bedrijf Noord-Holland, locatie Andijk). Globaal schat men in dat het in het *worst case* scenario 1 à 2 weken kan duren voordat het zoutgehalte weer is gezakt onder de daarvoor geldende grens. Maatregelen tot tijdelijke sluiting van dit innamepunt zijn mogelijk. Hoewel deze effecten in tijdsduur (enkele weken) en frequentie verwaarloosbaar lijken, is volgens de Waterdienst zonder nader onderzoek niet goed de typering ‘verwaarloosbaar’ te onderbouwen. Zij achten de typering ‘klein p.m.-tje’ op dit moment beter op zijn plaats.

De geraadpleegde deskundige⁵⁰ van Deltares geeft aan dat de natuurschade van het genoemde volume overslaand zout water bij een kans van 1 op 10.000 ‘gevoelsmatig’ geen significante schade oplevert voor de natuur. Verwacht mag worden dat het zoute water vooral neerslaat nabij de Afsluitdijk en dus ook als eerste weer kan worden weggepompt/weggespuid. Het zoute water nabij de Afsluitdijk zal daar wel leiden tot hogere zoutconcentraties. Schade aan natuur door het zoute water nabij de Afsluitdijk komt primair doordat het zoute water naar de bodem zakt en daar de driehoeksmossel schade berokkent. Deze mosselen zijn echter bestand tegen een zoutgehalte tot 1 ‰ en nabij de Afsluitdijk wordt er relatief weinig gevoerageerd door vogels op deze mosselen. In het ergste geval moeten deze vogels elders hun eten zoeken. Mogelijk leidt dit tot problemen door voedselschaarste. Ook deze deskundige geeft – net als de Waterdienst – aan dat er geen gedetailleerde berekeningen beschikbaar zijn en daarom een definitief oordeel prematuur is.

⁵⁰ Valesca Harezlak, Deltares, februari 2011.

Conclusie

De effecten van overslaand zout water lijken verwaarloosbaar. In het PlanMER (Grontmij, 2010a) wordt dit ook zo stellig beweerd, hoewel in het rapport ook een andere typering kan worden gevonden. Geraadpleegde deskundigen van de Waterdienst en Deltares lijken deze mening ook in het worst case scenario te delen. De effecten op de zoetwaterinlaat voor landbouwdoeleinden zijn in ieder geval verwaarloosbaar: deze inlaat vindt niet plaats tijdens het stormseizoen. Ook het effect op de inlaat van zoet drinkwater lijkt zeer beperkt. Geschat wordt dat zelfs in een worst case scenario (kans 1 op 10.000) de inlaat (locatie Andijk) een à twee weken gesloten moet blijven en dat maatregelen tot tijdelijke sluiting mogelijk zijn. Ook de natuur lijkt geen significante schade te ondervinden in een worst case scenario.

De geraadpleegde deskundigen van de Waterdienst en Deltares benadrukken beiden dat zonder nader onderzoek de typering ‘verwaarloosbaar’ niet goed te onderbouwen is.

Alles overziend lijkt de conclusie dat het effect van overslaand zoutwater voor de kernen Basisalternatief en WaterMachine als ‘gering / –’ getypeerd kan worden ten opzichte van de 2100-Robuust. De deskundigen denken dat ‘gering’ (lees: verwaarloosbaar) op zijn plaats is. Vanwege het voorbehoud dat de deskundigen van de Waterdienst en Deltares maken ten aanzien van nader onderzoek wordt hier ‘–’ (negatief effect, maar waarschijnlijk niet doorslaggevend) aan toegevoegd. De verschillen van 2100-Robuust met de andere kernen (Monument in Balans, WaddenWerken en Natuurlijk Afsluitdijk) zijn zo gering dat daar de typering verwaarloosbaar zeker op zijn plaats is. In Tabel 5.1 wordt dit weergegeven als ‘o’.

6.6 Natuureffecten

De beoordeling van de natuurwaarden is gebaseerd op twee verschillende invalshoeken die in deze paragraaf worden behandeld:

1. Treden er significant negatieve effecten op ten aanzien van de ‘kernopgaven’ en ‘instandhoudingsdoelen’ in het kader van de Natuurbeschermingswet (Nbw) en welke juridische gevolgen kan dit hebben?
2. Welke totale (negatieve én positieve) natuureffecten treden er per saldo op?

Beide invalshoeken worden apart besproken. Uit de bovenstaande typering van beide invalshoeken blijkt duidelijk de gedeeltelijke overlap. Bij de interpretatie van beide invalshoeken moet hiermee nadrukkelijk rekening worden gehouden.

ad (1): negatieve effecten: vergunning Natuurbeschermingswet (Nbw)⁵¹?

De Waddenzee en het IJsselmeer zijn aangewezen als Natura 2000-gebied (zie paragraaf 2.6 voor nadere uitleg). Daarom is een vergunning nodig in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. Voor het verkrijgen van een vergunning dienen er in principe geen significant negatieve effecten⁵² op te treden op de voor de Waddenzee en het IJsselmeer van toepassing zijnde ‘kernopgaven’ en ‘instandhoudingsdoelen’. Als die er toch zijn, dan is een project alleen uitvoerbaar indien:

- Er geen alternatieven zijn met minder effecten *én*
- Er een dwingende reden van groot openbaar belang is *én*
- Compensatie mogelijk is, die vooraf dient te worden gerealiseerd.

⁵¹ Deze tekst is mede gebaseerd op Grontmij (2010d).

⁵² In het verleden (IJburg, uitbreiding jachthavens) is gebleken dat verwachte negatieve natuureffecten de verlening van een vergunning in de weg kan staan wanneer een project juridisch wordt getoetst, waardoor een project eventueel niet kan worden uitgevoerd (Zwaneveld et al., 2009).

De Risicobeoordeling op significant negatieve effecten van de kernen is ingeschat op het niveau van het PlanMER. Bij het opstellen van een structuurvisie van het uiteindelijke voorkeursalternatief wordt zonodig een Passende Beoordeling op grond van de Natuurbeschermingswet opgesteld. De nu uitgevoerde Risicobeoordeling is globaler van aard dan de Passende Beoordeling (Grontmij 2010d, p. 7).

De overzichtstabel van de KEA-resultaten (Tabel 5.1) geeft bij “Risico significant negatieve natuureffecten Natuurbeschermingswet (Nbw)” aan of er mogelijk ‘significant negatieve effecten’ zijn. Aangezien er een projectalternatief (kern: MiB) is dat geen significant negatieve effecten heeft, kan uit bovenstaande alinea worden opgemaakt dat een projectalternatief met significant negatieve effecten waarschijnlijk geen vergunning krijgt in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. Tabel 6.6 geeft de achtergronden van het eindoordeel. Belangrijk is dat dit oordeel is gebaseerd op het nemen van de in deze tabel genoemde mitigerende en compenserende maatregelen, inclusief de kans van slagen van deze maatregelen.

De kosten van deze maatregelen komen ook terug in Tabel 5.1 onder ‘Kosten mitigerende/compenserende maatregelen’. Een beschrijving van de mitigerende en compenserende maatregelen en enkele aanvullende opmerkingen staan in bijlage A.

Conclusie

Uit de Tabel 6.6 kan geconcludeerd worden dat bij WaddenWerken een ‘hoog’ risico bestaat op het optreden van significant negatieve effecten op Natura 2000-gebieden. Bij Natuurlijk Afsluitdijk is dit risico nog steeds ‘relevant’ en bij WaterMachine ‘beperkt’ tot ‘relevant’. De kernen 2100-Robuust en Basisalternatief hebben geen significant negatieve effecten op de lange termijn. Significantie op de korte termijn (i.e. tijdelijk) is niet uit te sluiten, waardoor de typering ‘gering’ dan wel ‘geen/beperkt’ geldt. Ten slotte kan worden gesteld dat Monument in Balans als enige ‘geen’ risico kent op het optreden van significant negatieve effecten (korte en lange termijn). Voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 dienen er in principe geen significant negatieve effecten op te treden.

ad (2): totale natuureffecten: een ‘gewogen gemiddelde’ met de natuurwaardeindicator

Schenkt de Natuurbeschermingswet alleen aandacht aan aantasting van bestaande natuur, de natuurwaardeindicator probeert juist tot een afweging te komen van wat er nieuw bij komt ten opzichte van wat verdwijnt. Er wordt dus gekeken naar de negatieve én positieve natuureffecten: een soort saldobenadering.

De beoordeling van de totale natuureffecten is uitgevoerd door deze effecten uit te drukken in natuurlinpunten (natuurwaardeindicator-punten, NWI-punten) naar een oorspronkelijk idee van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Hiertoe is deze methode door de Grontmij (Grontmij, 2010c) uitgebreid naar estuariene⁵³ natuur. Het PBL heeft hierbij geadviseerd. Ook heeft het PBL een second opinion uitgevoerd op de berekening van de natuurlinpunten voor de KEA Afsluitdijk. Het PBL (De Hollander, 2011) concludeert dat de Grontmij de methodiek van de natuurlinpunten correct heeft toegepast. Het PBL acht de NWI-berekeningen bruikbaar voor het besluitvormingsproces over de toekomst van de Afsluitdijk (zie bijlage A voor de rol van de natuurlinpunten in de besluitvorming).

De oorspronkelijke methode (Sijtsma et al., 2009) van het PBL was gebaseerd op terrestrische⁵⁴ natuur. Deze methode geeft ‘een gewogen totaal’ van de natuurkwaliteit. Hierbij worden zowel positieve als negatieve natuureffecten onderling vergeleken. De bovengenoemde significant negatieve effecten volgens de Nbw worden dus ook meegewogen. Deze significant negatieve effecten hebben betrekking op een afzonderlijke soort of habitat, terwijl in de natuurlinpunten juist alle soorten en habitats worden opgeteld tot één enkel getal: het ‘gewogen totaal’. Daardoor is het mogelijk dat gemeten in natuurlinpunten de natuur er als geheel op vooruit gaat, terwijl volgens de Natuurbeschermingswet een project geen doorgang kan vinden omdat één specifieke soort of habitat er (teveel) op achteruit gaat.

⁵³ Een estuarium is een ‘wijde trechtervormige riviermond, waarin eb en vloed zich sterk doen gelden’.

⁵⁴ Terrestrisch betekent ‘op het land gevormde’.

Tabel 6.6 Risico significant negatieve natuureffecten Natuurbeschermingswet 1998: overzicht argumenten

Kern	Oorzaak	Mitigatie/compensatie	Eindoordeel
21R	Betreft Rivierdonderpad (vissoort) Dood >1% huidige IJsselmeerpopulatie LT: na >5 jaar geen effect	-	Geen/beperkt
Ba	Betreft Rivierdonderpad (vissoort) Dood >1% huidige IJsselmeerpopulatie LT: na >5 jaar geen effect	-	Geen/beperkt
MiB	-	-	Geen
WW	Verlies 0,5% areaal (in NL-deel Waddenzee) habitat H1110 (permanent overstroomde zandbanken)	-	Hoog
	>1% aantasting foerageergebied toppereend	Elders nieuw foerageergebied; slaagkans onzeker	
NA	Betreft Rivierdonderpad (vissoort) Dood ± 5% huidige IJsselmeerpopulatie LT: na >5 jaar geen effect >1% aantasting foerageergebied kuifeend	Stortsteen aan buitenzijde zanddijk/Valmeer Elders nieuw gebied met driehoeksmossel creëren; slaagkans onzeker.	Relevant
WMm	Betreft Rivierdonderpad (vissoort) Dood ± 5% huidige IJsselmeer-populatie LT: na >5 jaar geen effect >1% aantasting foerageergebied kuifeend	Stortsteen aan buitenzijde zanddam (Elders) nieuw gebied met driehoeksmossel creëren; slaagkans onzeker.	Beperkt/relevant
LT = Lange termijn.			

Door verschillen in aanpak zijn de berekende (verschillen in) natuurlpunten niet vergelijkbaar met eerdere toepassingen van de natuurwaardeindicator en zijn ook niet in geld uit te drukken.

De natuurwaardeindicator is gebaseerd op *expert judgement*. Bij de interpretatie dient rekening gehouden te worden met onzekerheidsmarges die hiermee gepaard gaan en met het feit dat vanuit een welvaartseconomisch perspectief niet elke natuurlpunt evenveel waard hoeft te zijn. Een verschil in natuurlpunten voor de beschouwde kernen van minder dan 1.000 punten wordt als niet-onderscheidend gezien door zowel de Grontmij als het PBL (Grontmij, 2010c, p.20; De Hollander, 2011). Om schijnnaauwkeurigheid te vermijden worden de natuurlpunten afgerond op 100-tallen. De weergegeven natuurwaarden worden pas volledig bereikt vanaf zo'n 10 jaar na aanleg (dus rond 2030). Indien de omstandigheden gelijk blijven (in het bijzonder een gelijk blijvend IJsselmeerpeil), zijn de natuurlpunten representatief voor de periode tot 2100.

Daarnaast moet bij de interpretatie van de procentuele verschillen worden meegewogen dat het verschillen zijn in stroken van 3 km breed aan beide zijden van de Afsluitdijk. Omdat deze KEA als uitgangspunt heeft de welvaart van alle inwoners van Nederland, zou het niet misstaan de verschillen uit te drukken in procentuele verschillen ten opzichte van het gehele

oppervlak van Nederland dan wel het gehele IJsselmeer en de Waddenzee. Hoewel de gegevens niet voorhanden zijn om deze berekening uit te voeren, zouden de procentuele verschillen uiteraard veel kleiner zijn. Indien een kleiner gebied beschouwd zou zijn, dan waren de procentuele verschillen groter geweest.

Tabel 6.7 Natuurbeoordeling met natuurwaardeindicator-punten, strook 3 km beide zijden Afsluitdijk

	Huidig + ESA	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
IJsselmeer: strook 3 km							
NWI-punten	2.770	2.750	2.770	2.770	2.770	4.370	?
% tov huidige situatie	0%	-1%	0%	0%	0%	58%	?
Waddenzee: strook 3 km							
NWI-punten	9.000	9.000	9.000	9.000	8.670	9.000	9.000
% tov huidige situatie	0%	0%	0%	0%	-4%	0%	0%
Totaal: 6 km langs Afsluitdijk							
NWI-punten	11.770	11.740	11.760	11.770	11.440	13.370	?
Onderscheidend verschil t.o.v. 21R?	nee	ref	nee	nee	nee	ja, 1.600	?
% tov huidige situatie	0%	0%	0%	0%	-3%	14%	?

Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c). ? = niet bekend.

De onderlinge verschillen in natuurwaarde tussen de kernen in een totale strook van 6 km langs de Afsluitdijk zijn beperkt, zoals blijkt uit de onderstaande tabel. De kernen 2100-Robuust, Basisalternatief en Monument in Balans verschillen onderling slechts in zeer geringe mate. Uitgedrukt in het totaal aantal natuurlinies in stroken van 3 km breed aan beide zijden van de Afsluitdijk is het verschil zelfs 0%. De geringe verandering van het aantal natuurlinies aan de IJsselmeerkant is het gevolg van verharding van de huidige soortenarme grasberm die door schapen wordt begrast, en/of de verbreding van de Afsluitdijk aan de IJsselmeerkant.

WaddenWerken vermindert door de aanleg van de zandnok de omvang van de Waddenzee (permanent overstroomde zandbanken incl. mosselbanken) met 450 ha. Omdat de zandnok minder natuurwaarde heeft dan de zandbanken, levert dit een totale reductie van zo'n 300 punten (3%) op. Gezien de onzekerheden valt dit ruim binnen de onzekerheidsmarge van 1.000 punten van de gehanteerde methode, zodat deze vermindering op basis van natuurlinies als 'niet onderscheidend' betiteld moet worden. Deze vermindering komt door een reductie van het aantal hectares permanent overstroomde zandbanken, hetgeen ook exact de reden is waarom deze kern een hoog risico op significant *negatieve* effecten op de natuur kent in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. De verdiepte bodem met veel reliëf van het IJsselmeer om de gevoeligheid voor opwarming tegen te gaan (door het winnen van zand voor de zandnok) leidt volgens informatie van de Grontmij en het PBL niet tot enige verhoging van het aantal natuurlinies.

Natuurlijk Afsluitdijk leidt – gemeten in natuurlinies – tot een stijging van 14% ten opzichte van 'de huidige situatie plus ESA' én 2100-Robuust. Uit de bovenstaande tabel kan worden opgemaakt dat dit verschil volledig komt door veranderingen aan de IJsselmeerkant. Daar wordt 3.200 ha diep en ondiep zoet water vervangen door onder andere een Valmeer (800 ha) dat vanwege zijn diepte geen natuurwaarde heeft. Daarnaast wordt er een brak tussenmeer aangelegd (2000 ha) dat in verbinding staat met de Waddenzee waardoor onder invloed van getij een dagelijkse peilvariatie ontstaat. Er wordt ook een brak oevermoeras (400 ha, inclusief de zanddijk) gerealiseerd. Het tussenmeer wordt tevens gevoed door de blue energy-centrale die brak water (400 m³/s: 200 m³/s zoet vermengd met 200 m³/s zout) loost op dit meer. Ook het Valmeer pompt het water daarheen. Normaal gesproken is het water uit het Valmeer afkomstig uit het tussenmeer, maar het Valmeer kan ook worden gebruikt als nooduitlaat om zoet water uit het IJsselmeer af te voeren. Dit zal slechts enkele malen per jaar optreden. Het effect op de natuur daarvan is te vergelijken met een stevige regenbui.

De natuurwaarde aan de IJsselmeerkant stijgt bij Natuurlijk Afsluitdijk met 1.600 punten (58%) omdat brakwatermilieus in Nederland zeldzamer zijn dan de 'oude' zoetwatermilieus. Dit is door de experts hoger gewaardeerd wat leidt tot de

genoemde stijging. Omdat het brakke tussenmeer tevens dient als opvang van 'proces'-water uit het Valmeer en de blue energy-centrale, is de kwaliteit van het brakke meer wat lager ingeschat dan maximaal haalbaar. Al met al kan worden geconcludeerd dat de natuurwaarde aan de IJsselmeerzijde weliswaar stijgt, maar dat door relatief lage natuurwaarde in de uitgangssituatie aan de IJsselmeerzijde de totale natuurwinst beperkt van omvang is. Ongeveer de helft van deze stijging van 1.600 punten (dus zo'n 800 punten) valt toe te schrijven aan de 'verondieping' van het tussenmeer (kosten 260 mln nominaal).

Voor WaterMachine is geen adequate berekening van de natuurlinpunten aan de IJsselmeerzijde beschikbaar. Bij het bepalen van de natuurwaarde is namelijk geen rekening gehouden met het feit dat er veelvuldig (mogelijk minimaal eens per week) gepompt moet worden via het tussenmeer. Als de pompturbines worden gebruikt als pomp, is er geen open verbinding tussen het tussenmeer en de Waddenzee. Het beoogde brakke tussenmeer gaat dan dus verzoeten, waardoor de beoogde natuurwaarde niet kan worden bereikt. Mogelijk is de natuurwinst van een dergelijk tussenmeer bij veelvuldig pompen beperkt. De natuurwaarde van WaterMachine is dan ook aangeduid met '?' (niet bekend). De natuurlinpunten voor de Waddenzee voor WaterMachine zijn wel accuraat. Daar treedt bij deze kern geen verbetering op voor de natuur.

Uit enkele berekeningen (Grontmij, 2010c) kan worden afgeleid dat de natuurwaarde aan de IJsselmeerzijde substantieel kan stijgen indien er continu een open verbinding mogelijk blijft tussen het tussenmeer en de Waddenzee (ofwel nooit de noodzaak tot pompen), maar ook dan blijft het totaal aantal natuurlinpunten nog steeds – eveneens substantieel – achter bij het aantal voor de Waddenzeezijde in haar huidige toestand (inclusief de vispassage bij ESA).

Een volledige visdoorgang zodat vis kan migreren tussen de Waddenzee en het IJsselmeer betekent een hoge kwaliteitsverbetering voor de natuur in zowel het IJsselmeer als de Waddenzee. Dit blijkt uit informatie van de Grontmij. Een vispassage levert zo'n 1.500 natuurlinpunten op: evenveel als de kern Natuurlijk Afsluitdijk ten opzichte van 2100-Robuust. Zoals eerder gezegd, in alle kernen zit al één vispassage. Een additionele (tweede) vispassage op voldoende afstand van de in de kern reeds opgenomen vispassage levert – volgens de Grontmij – wederom een additionele natuurwinst op van zo'n 1.500 punten. Mogelijk levert een derde vispassage wederom een dergelijke substantiële natuurwinst op. Dit zou nader onderzocht moeten worden. De positieve effecten van een vispassage zijn in overstemming met eerder onderzoek (Rijkswaterstaat, 2005a, p.16). Vispassages leveren een blijvend positief effect op de soortenrijkdom van vis en op het voedselaanbod van visetende vogels. Vanuit de Kaderrichtlijn Water (Grontmij, 2010b, p.112) is dan ook afgesproken om twee vispassages in de Afsluitdijk te realiseren. De precieze vormgeving van een vispassage – mits 'goed ontworpen' – maakt niet uit voor de natuurwinst voor de rest van de Waddenzee en het IJsselmeer (Grontmij, 2010c).

Merk op dat een vispassage de natuurwaarde verhoogt door een kwaliteitsverbetering van bestaande habitats. De – in natuurlinpunten vergelijkbare – natuurverbetering bij Natuurlijk Afsluitdijk komt primair door het creëren van een nieuwe, voor Nederland schaarsere habitat. Indien de natuurlinpunten zouden zijn bepaald over een groter gebied dan de gekozen 6 kilometer langs de Afsluitdijk, dan zou een vispassage (mogelijk zelfs veel) meer winst in natuurlinpunten opleveren dan de kern Natuurlijk Afsluitdijk. Een vispassage heeft namelijk volgens het PBL (De Hollander, 2011) 'potentieel een effect in een veel groter gebied (de gehele Waddenzee en het gehele IJsselmeer met aangrenzende polders)'.

De kosten van een zo goedkoop mogelijk, maar wel goed ontworpen vispassage bedragen zo'n 10 mln euro. De conclusie is dus gerechtvaardigd dat een extra vispassage een goedkope manier is om de natuurkwaliteit aanmerkelijk te verbeteren.

In bijlage A wordt nader ingegaan op de methode die Grontmij heeft gebruikt om het aantal natuurlinpunten te bepalen. Naast een beschrijving van de methode worden er ook enkele kanttekeningen geplaatst.

Conclusie

De natuureffecten van de kernen zijn uitgedrukt in natuurpunten. Hiermee worden positieve en negatieve natuureffecten samen genomen tot een 'totale' natuurwaarde. Voor de kern WaterMachine kan helaas geen adequate schatting worden gegeven van het aantal natuurpunten. Door de noodzaak van veelvuldig wegpompen van zoet water, zal de beoogde natuurwaarde in het brakke tussenmeer niet optreden.

De onderlinge relatieve verschillen van de overige kernen zijn op een uitzondering na gering van omvang. De kernen 2100-Robuust, Basisalternatief en Monument in Balans hebben vrijwel geen natuureffecten zodat er ook geen noemenswaardige onderlinge verschillen zijn ten aanzien van de 'natuurwaarde'. WaddenWerken leidt tot een iets lagere natuurwaarde (-3%) omdat er een zandnok bestaande uit grasland wordt aangelegd in de Waddenzee, wat leidt tot een permanent verlies van 0,5% van het areaal van het habitatype 'permanent overstroomde zandbanken' (Grontmij, 2010d, p. 34) in het beschouwde gebied. Dit habitatype kan echter, gegeven een behoudsdoelstelling in het kader van Natura 2000, in de Natuurbeschermingswet zo belangrijk worden geacht dat iedere afname geldt als significant effect waardoor mogelijk geen vergunning zal worden verleend.

Natuurlijk Afsluitdijk leidt door de aanleg van een (brak) tussenmeer aan de IJsselmeerzijde tot een stijging van +14% van het natuurpuntentotaal in het beschouwde gebied van een strook van 6 km langs de Afsluitdijk.

Deze natuurwinst is op het beschouwde gebied vergelijkbaar met de natuurwinst van een extra vispassage, waarvan de kosten (zo'n 10 mln euro) veel lager zijn. Mits goed ontworpen, geeft iedere vispassage een vergelijkbaar effect. Doordat het effect van een extra vispassage invloed heeft op een veel groter gebied dan het brakke tussenmeer bij Natuurlijk Afsluitdijk zijn de natuureffecten feitelijk groter.

Het is niet mogelijk om de (absolute) verschillen in natuurpunten te monetariseren. Deze verschillen moeten daarom – samen met alle overige welvaartseffecten – door de besluitvormers worden meegewogen bij het uiteindelijke besluit.

6.7 Landschap en monumenten

6.7.1 Inleiding

De kernen hebben duidelijk effecten op het landschap, de beleving van het landschap en op de monumenten die op de Afsluitdijk gelegen zijn. Effecten op deze aspecten hebben een duidelijk verband met recreatie. Vanwege de landschappelijke kwaliteit of de aanwezige monumenten besluit men om te recreëren op de Afsluitdijk. Dit kan zijn omdat men 'toevallig' in de buurt is of over de Afsluitdijk moet rijden. Recreatie op de Afsluitdijk kan ook het hoofddoel van een reis zijn. Uiteraard kan recreatie ook het gevolg zijn van de aanwezigheid van natuur (zie paragraaf 6.6).

In het PlanMER (Grontmij, 2010a) heeft men na een analyse van de ontstaansgeschiedenis van de Afsluitdijk en de belangrijkste landschappelijke en cultuurhistorische waarden de volgende criteria benoemd:

1. Beïnvloeding waterpanorama. Dit betreft de openheid alom, de openheid vanaf de Afsluitdijk en vanuit de omgeving.
2. Beïnvloeding dijkperspectief. Dit heeft betrekking op de kenmerkende rechte lijn, de structuur van de dijk, het dijkprofiel ('water tegen de dijk'), de compartimentering van de dijk en het begin en einde.
3. Beïnvloeding van huidige waterlandschappen: Waddenzee en het IJsselmeer.
4. Effecten op monumenten. Dit betreft de monumenten uit de waterstaatkundige en militaire geschiedenis.
5. Potenties voor nieuwe ruimtelijke kwaliteit. Dit aspect betreft de potentie van (onderdelen van) de kernen om 'aanvullende ruimtelijke kwaliteit' te leveren.

De eerste vier genoemde criteria beoordelen iedere verandering van de bestaande situatie als negatief. Het laatste, vijfde, criterium beoordeelt toevoegingen op hun *positieve* bijdrage. Veranderingen die positief beoordeeld worden, komen daarom dus tweemaal voor: omdat er 'iets' verandert, zal er een negatief oordeel staan op één of meer van de eerste vier criteria én een positief oordeel op het vijfde criterium.

De beoordeling op de genoemde criteria heeft plaatsgevonden op basis van *expert judgement* (Grontmij, 2010a).

Tabel 6.8 Landschap en monumenten: criteria en expert judgement uit PlanMER

	21R	Ba(a)	MiB	WW	NA	WMm(b)
	t.o.v. huidige	t.o.v. 21R				
Beïnvloeding waterpanorama	o	o	o/+	o/-	-	-
Beïnvloeding dijkperspectief	o/-	-	-	o/-	o/-	-
Beïnvloeding van waterlandschappen	o	o	o	o/-	-	o-
Effecten op monumenten	-	o/+	o/+	+	o	o/+
Potenties voor nieuwe ruimtelijke kwaliteit	o	o	o	o/+	o/+	+

Bron: Grontmij (2010a)

Uitleg via een voorbeeld: In de kern 21R moeten enkele monumenten worden verplaatst wat als negatief ('-') is getypeerd ten opzichte van de huidige situatie. Omdat in WW deze monumenten op de huidige plaats blijft staan, scoort WW op het 'Effecten op monumenten' een '+' ten opzichte van 21R.

(a) De weergegeven typering voor Ba gelden alleen tot het jaar 2050. Daarna worden alle effecten 'o' omdat dan alsnog 21R wordt gebouwd.

(b) Bij WMm wordt rond 2065 de dijkoplossing van 21R aangelegd; WMm krijgt dan voor 'Beïnvloeding dijkperspectief' en 'Effecten op monumenten' het effect 'o'.

Hieronder worden voor elke kern de belangrijkste veranderingen benoemd. De tekst is voor een groot deel ontleend aan Grontmij (2010a).

Bij *2100-Robuust* komen er wat meer kunstwerken langs de Afsluitdijk te staan (vernieuwing van kunstwerken met veelal behoud van oude, toevoeging ESA). Deze toevoegingen maken het beeld van de Afsluitdijk wat 'drukker'. Dit is dus een verandering en daarom getypeerd als 'o/-'. Doordat de dijk wordt verbreed moeten een aantal elementen, zoals het Monument, worden verplaatst. Deze verandering is weergegeven met '-'.⁵⁵

Bij *Basisalternatief* wordt tussen 2020 en 2050 de Afsluitdijk verstenigd, wat het aanzicht van de dijk verandert. Dit is als '-' getypeerd. Tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) kan de versteniging overigens worden overdekt met gras,⁵⁵ opdat er geen wezenlijk verschil ontstaat met het aanzicht van zowel de huidige dijk als 2100-Robuust. Er hoeven in de periode tot 2050 minder monumenten worden verplaatst dan bij 2100-Robuust, wel is er ook dan enige aantasting van monumenten door het overslagbestendig maken (typering 'o/+'). Na 2050 krijgt de Afsluitdijk bij deze kern de vormgeving van 2100-Robuust waardoor er geen verschillen meer zijn ten opzichte van dit (referentie)alternatief.

Fietsers kunnen bij *Monument in Balans* tijdens het rijden zowel de Waddenzee als het IJsselmeer zien: dit is als 'o/+' getypeerd. Het plaatsen van het stormschild leidt tot 'een drastisch ander dijkprofiel' en 'tot noodzakelijke onderbrekingen' van dit stormschild. Dit is getypeerd bij dijkperspectief als '-'. Het stormschild kan ook worden gezien als 'een herkenbare 21e eeuwse toevoeging' waardoor voor potenties voor nieuwe ruimtelijke kwaliteit de typering 'o/+' is gekozen. Er moeten bij deze kern minder monumenten worden verplaatst in vergelijking met 2100-Robuust waardoor dit aspect 'o/+' scoort.

Doordat bij *WaddenWerken* een met gras bedekte zandnok wordt aangelegd, is de Waddenzee vanaf de oude Afsluitdijk minder goed zichtbaar. Ook de ligging van de Afsluitdijk als een dunne streep door het open water verdwijnt. Dit is bij waterpanorama als 'o/-' getypeerd. De zandnok vervaagt aan de noordzijde het scherpe profiel van dijk met het water,

⁵⁵ Opgave van Rijkswaterstaat.

waardoor ook het dijkprofiel als 'o/–' is weergegeven. Omdat de 'oude' dijk zelf vrijwel niet verandert, is de typering op monumenten '+'. De groene zandnok voegt potentie voor nieuwe ruimtelijke kwaliteit toe ('o/+'). De uitstraling ervan is echter gelijk aan veel dijken aan het IJsselmeer en de Waddenzee.

Bij *Natuurlijk Afsluitdijk* worden de effecten bepaald door de toevoeging van het tussenmeer, het Valmeer en de blue energy-centrale. De dijk zelf krijgt een vrijwel gelijke uitstraling als 2100-Robuust. Door het tussenmeer en het Valmeer verdwijnt het 'open' waterpanorama tussen Breezanddijk en Kornwerderzand ('–') en verandert ook het dijkperspectief ('o/–'). De cirkelvorm van het Valmeer en het tussenmeer betreffen een nieuwe ruimtelijke potentie ('o/+'). Ook de grootschalige blue energy-centrale dient in dit kader genoemd te worden.

Ook bij *WaterMachine* wordt een tussenmeer toegevoegd. Door het tussenmeer verdwijnt het 'open' waterpanorama tussen Breezanddijk en Kornwerderzand ('–') en wijzigt ook het waterlandschap in het IJsselmeer ('o/–'). De zanddam en het tussenmeer zijn getypeerd als een nieuwe ruimtelijke kwaliteit '+'. De verstening (het overslagbestendig maken) van de dijk tot 2065 wordt als '–' getypeerd. Tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) kan de verstening overigens worden overdekt met gras, opdat er geen wezenlijk verschil ontstaat met het aanzicht van zowel de huidige dijk als 2100-Robuust. Tot 2065 hoeven er minder monumenten te worden verplaatst dan bij 2100-Robuust ('o/+'). Het dijkperspectief en de monumenten zijn na 2065 identiek aan die in 2100-Robuust omdat dan – in principe – alsnog die dijkoplossing wordt gerealiseerd.

In het PlanMER (Grontmij, 2010a, paragraaf 4.2) wordt ook een beschrijving gegeven van de effecten uit Tabel 6.8. Daar is op basis van *expert judgement* een nadere duiding toegevoegd of veranderingen als positief of negatief worden gezien. Ook zijn de scores voor de verschillende onderdelen opgeteld tot een 'totaalscore voor landschap en monumenten'. Getracht is om in de KEA bij de beschrijving van de effecten zo min mogelijk een oordeel te laten doorklinken. Ook de totaalscore is niet overgenomen. Het laatste omdat de effecten ongelijksoortig zijn waardoor het optellen van plussen en minnen conceptueel lastig is. Daarbij wordt in het PlanMER ook geen onderbouwing geven waarom de gekozen totaalscore adequaat is. Als verdediging van deze totaalscore kan worden aangevoerd dat dit een *expert judgement* betreft en daarom mogelijk inzicht geeft in de welvaartseffecten voor de inwoners van Nederland.

6.7.2 Monumenten

De Afsluitdijk als geheel is geen Rijksmonument, maar enkele afzonderlijke onderdelen zijn dat wel. Het gaat om de sluiscomplexen (met uitzondering van de schutsluizen bij Den Oever), kazematten en gebouwen zoals het monument met de bekende uitkijktoren van Dudok en een douanegebouw in Kornwerderzand. Daarnaast is Kornwerderzand een beschermd dorpsgezicht. Rijksmonumenten zijn opgenomen in het register van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.

Bij een voorgenomen wijziging of sloop van een Rijksmonument – of een beschermd stads- of dorpsgezicht – is een vergunning nodig in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). In deze wet zijn de voorwaarden en procedures enerzijds gedetailleerd omschreven, maar er kunnen ook uitzonderingen worden gemaakt op basis van algemene maatregelen van bestuur. Hierdoor zal de eventuele vergunningsverlening sterk afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden en plannen.

6.7.3 Recreatie

Naast de bovengenoemde landschappelijke effecten die voornamelijk het (uit)zicht op de Afsluitdijk beïnvloeden, is er bij *Natuurlijk Afsluitdijk* en *WaterMachine* ook een effect op het wateroppervlak dat beschikbaar is voor vaarrecreatie. Het tussenmeer dat bij beide kernen wordt gerealiseerd, zal naar verwachting niet toegankelijk zijn voor vaarrecreatie zodat per saldo het beschikbare wateroppervlak vermindert. Voor de recreatieve scheepvaart bestaat er mogelijk een toegevoegde waarde van de dijk rond het tussenmeer in *Natuurlijk Afsluitdijk* en *WaterMachine*, wanneer daar extra aanmeermogelijkheden worden gecreëerd. Hierdoor zou het noordelijke IJsselmeer toegankelijker kunnen worden voor de recreatievaart.

Wel kunnen we globaal aangeven voor hoeveel boten en personen het tussenmeer een verandering van de vaarrecreatiemogelijkheden betekent. Het aantal boten in de recreatieve vaart in 2009 met een vaste ligplaats in het IJsselmeergebied bedroeg 32.674 (Waterrecreatie Advies, 2009). Dit gebied is inclusief het Markermeer, het IJmeer, de Randmeren, het Ketelmeer en het Zwarte Meer. Het aantal ligplaatsen in Friesland – ligplaatsen die zich het dichtst bij het tussenmeer bevinden – is 6.304; iets minder dan 20%. De omvang van de recreatievaart in het IJsselmeergebied in 2008 wordt geschat op 300.000 boten per jaar. Dit getal is gebaseerd op 384.222 bootovernachtingen en een gemiddelde verblijftijd van 1,3 dag. Als voor het gemak wordt aangenomen dat 20% van die boten een haven in Friesland aandoen en zo in de buurt van het tussenmeer komen, dan gaat het om 60.000 boten per jaar. Met gemiddeld 2,5 opvarenden per boot, zou het gaan om rond de 150.000 personen per jaar.

6.7.4 Conclusie

De kernen hebben verschillende fysieke effecten op het landschap, de aanwezige monumenten en de beleving van het landschap en de monumenten. Een zo zakelijk mogelijke beschrijving van de verschillende effecten is in deze paragraaf gepresenteerd. In het PlanMER (Grontmij, 2010a) wordt deze beschrijving uitgebreid met een positieve of negatieve duiding en wordt een totaaloordeel gegeven op het gebied van 'landschap en monumenten'. Het is onduidelijk of deze oordelen een adequate weergave zijn van de effecten op de totale Nederlandse welvaart.

Bij een voorgenomen wijziging of sloop van een Rijksmonument – of een beschermd stads- of dorpsgezicht – is een vergunning nodig in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo).

Het is dan ook niet mogelijk om de verschillen op het terrein van landschap en monumenten te monetariseren. Deze verschillen moeten daarom – samen met alle overige welvaartseffecten – door de besluitvormers worden meegewogen bij het uiteindelijke besluit.

Indien de versterking van de Afsluitdijk bij de kernen Basisalternatief en WaterMachine als een probleem wordt ervaren, dan kan deze versterking tegen beperkte meerkosten (zo'n 10 mln euro) worden bedekt met gras opdat het aanzicht van de dijk niet wezenlijk verandert ten opzichte van de huidige dijk en 2100-Robuust.

6.8 Archeologie

De bescherming van cultureel erfgoed dat zich bevindt in de bodem, is in Europees verband overeengekomen in het Verdrag van Malta (1992). De uitwerking hiervan is in Nederland in 2006, als Wet op de archeologische monumentenzorg, opgenomen in een aantal wijzigingen van de Monumentenwet uit 1988 en enkele andere wetten (zoals de Wet milieubeheer en de Woningwet).

De wet schrijft voor dat bij de uitvoering van een project gestreefd dient te worden naar behoud van het archeologisch erfgoed, waarbij behoud in situ (op de plek) in beginsel het uitgangspunt is. Ook is in het Verdrag van Malta voorgesteld de aanwezige archeologische waarden te documenteren, zodat voor uitvoering van het project een inschatting kan worden gemaakt van mogelijke alternatieven die een grotere bescherming bieden. In Grontmij (2010b, pp. 158-65) is een inventarisatie opgenomen, die is afgeleid uit meerdere bronnen, zoals het archeologisch informatiesysteem Archis2, de archeologische monumentenkaart (AMK) en de Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden (IKAW).

Bij archeologische waarden in het gebied rondom de Afsluitdijk gaat het vooral om scheepswrakken. Deze komen in de Waddenzee meer voor dan in het IJsselmeer (Grontmij, 2010a). Vondstlocaties zijn niet beschermd, maar dienen wel volgens de wet zorgvuldig te worden behandeld. Vanwege de beperking tot scheepswrakken worden de effecten van kernen met alléén ingrepen aan het dijklichaam (2100-Robuust, Basisalternatief en Monument in Balans) als neutraal beoordeeld. Beperkt negatief ('o/-') zijn de effecten van kernen met relatief beperkte bouwwerkzaamheden in de Waddenzee (WaddenWerken) of het IJsselmeer (WaterMachine). Vanwege de diepte en de inflexibele locatie van het Valmeer, worden de effecten van Natuurlijk Afsluitdijk als negatief ('-') beoordeeld.

Op basis van nader onderzoek zou wel kunnen worden ingeschat of er daadwerkelijk scheepswrakken liggen en wat de kosten (en baten) van het beschermen of lichten van deze scheepswrakken zijn.

Het is niet mogelijk om de verschillen op het terrein van archeologie te monetariseren. Deze verschillen moeten daarom – samen met alle overige welvaartseffecten – door de besluitvormers worden meegewogen bij het uiteindelijke besluit.

6.9 Wegverkeer, scheepvaart, fiets en openbaar vervoer

De effecten van de kernen op het gebied van wegverkeer, scheepvaart, fiets en openbaar vervoer zijn echt nul of verwaarloosbaar en derhalve weergegeven als 'o'. Onderstaand worden de genoemde modaliteiten apart besproken.

6.9.1 Wegverkeer

De effecten van de maatregelen in de kernen van de verschillende projectalternatieven op het wegverkeer zijn beperkt. In alle projectalternatieven wordt uitgegaan van het handhaven van de huidige 2×2 rijstroken. Ook de geldende maximum snelheden blijven gehandhaafd. Ook de draaibruggen zelf blijven in alle kernen gehandhaafd zodat het oponthoud bij alle kernen identiek is voor het wegverkeer.

Het enige verschil is de verbreding van het wegprofiel dat optreedt in sommige kernen. De huidige autosnelweg is aangelegd in de jaren '70, hoewel de breedte van het dwarsprofiel van de dijk hier oorspronkelijk niet op was berekend. In de marktverkenning (Rijkswaterstaat, 2008b) was al gesteld dat indien de autosnelweg zou worden verplaatst als gevolg van maatregelen aan het dijklichaam, de nieuwe snelweg zou moeten zijn ontworpen volgens de Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen (NOA) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Rijkswaterstaat, 2007). Dit is mogelijk bij de alternatieven waarin het dijklichaam wordt verhoogd en verbreed: 2100 Robuust, Natuurlijk Afsluitdijk, na 2050 bij Basisalternatief en na 2065 bij WaterMachine. Bij een flinke verhoging van de dijk moet de autosnelweg worden verlegd. Het is denkbaar dat bredere snelwegen veiliger⁵⁶ zijn of meer rijcomfort bieden. Ook kunnen bredere snelwegen een hogere capaciteit bieden, maar dat is in de situatie van de Afsluitdijk niet relevant: de verkeersvraag is zo laag dat er überhaupt geen capaciteitsknelpunten te verwachten zijn. Ondanks de – in theorie – denkbare hogere veiligheid en rijcomfort, hebben wij geen aanwijzingen⁵⁷ gevonden dat dit ook in de praktijk een significant verschil uitmaakt. Kentallen voor slachtoffers op snelwegen duiden bijvoorbeeld niet op een hogere veiligheid (minder slachtoffers) bij een breder uitgevoerde snelweg (Janssen, 2005).

Daarom lijkt het effect van een bredere snelweg verwaarloosbaar.

6.9.2 Scheepvaartverbindingen

De kernen verschillen niet in de kwaliteit van de vaarwegverbindingen die worden geboden. De schutsluizen hebben en houden in de kernen CEMT klasse Va. De – tweede – kleine schutsluis bij Kornwerderzand (zie Figuur 2.3) vervalt in alle kernen. Alle schepen moeten dus in alle kernen wachten voor zowel de sluizen als de draaibruggen. Er is dus geen enkel verschil tussen de kernen in de vaarwegverbindingen die worden geboden en daarom is het effect nul ('o').

Wel is er mogelijk een effect op de recreatieve vaarrecreatie op het IJsselmeer in de kernen Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine. Dit vanwege onder andere het tussenmeer dat ten koste gaat van het oppervlakte van het IJsselmeer. Dit aspect wordt besproken in paragraaf 6.7.

⁵⁶ Bredere snelwegen zouden ook kunnen leiden tot harder rijden hetgeen de veiligheid juist weer vermindert.

⁵⁷ We hebben gezocht op internet en contact opgenomen met SWOV en Rijkswaterstaat, Steunpunt Economische Effecten (SEE).

6.9.3 Fietsverbinding

In alle kernen wordt er een vrijliggend fietspad aangelegd. Soms komt dat buitendijks te liggen op de zandnok (WaddenWerken), soms wordt het verlegd naar de IJsselmeerkant (Basisalternatief tot 2050, WaterMachine tot 2065), naar de Waddenkant (2100-Robuust, Natuurlijk Afsluitdijk, Basisalternatief vanaf 2050 en WaterMachine vanaf 2065) of wordt het fietspad gerealiseerd op de kruin van de dijk aan de zuidkant van het stormschild (Monument in Balans). De *fietsverbinding* verschilt dus niet tussen de kernen en derhalve is het effect nul ('o').

Zoals uit bovenstaande beschrijving blijkt, verschilt wel het *uitzicht* dat de fietsers hebben. Dit aspect wordt echter besproken in paragraaf 6.7.

6.9.4 Openbaar vervoer

In alle kernen rijden de bussen over de normale rijstroken van de 2x2-snelweg en dient men rekening te houden met lagere maximum snelheden (veelal 70 km/h) bij de kunstwerken en met het eventuele oponthoud vanwege de draaibruggen voor de scheepvaart. De mogelijkheden voor het openbaar vervoer verschillen dus niet tussen de kernen en daarom is het effect nul ('o').

6.10 Externe veiligheid, geluid- en lichthinder en 'militair gebruik'

6.10.1 Externe veiligheid = veiligheid voor personen, maar géén waterveiligheid

Onder externe veiligheid wordt verstaan de (on)veiligheid als gevolg van calamiteiten van personen die zich in de nabijheid van de Afsluitdijk bevinden. Omdat waterveiligheid als een afzonderlijk effect wordt geanalyseerd, beperken we ons hier tot andersoortige calamiteiten. Daarmee wordt de focus beperkt tot die (basis)elementen in de kernen van projectalternatieven die niet exclusief zijn gerelateerd aan waterveiligheid en waterbeheer. Dit zijn alleen de elementen voor de opwekking van energie in de projectalternatieven met een tussenmeer (Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine). Het gaat om:

- De blue energy-centrale (NA),
- Het Valmeer (NA),
- De getijcentrale/het gemaal (WMm).

Deze elementen maken geen gebruik van chemische stoffen die een gevaar zouden kunnen opleveren voor de omgeving. Eventueel zijn gevaarlijke situaties voor recreatievaart in het tussenmeer denkbaar, maar in deze analyse wordt aangenomen dat recreatievaart geen toegang krijgt tot het tussenmeer. De effecten op externe veiligheid worden dan ook voor alle projectalternatieven verwaarloosbaar geacht en daarom weergegeven als nul ('o').

Tot de externe veiligheid van de bovengenoemde elementen kunnen ook calamiteiten worden gerekend die verband houden met onderhoud. We denken hierbij primair aan additionele gevaren die optreden bij de elementen die overtollig water afvoeren naar de Waddenzee (spuisluizen en pompen). Omdat alle kernen uitgaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil, zal er – indien de zeespiegel stijgt conform het W+-scenario – bij alle kernen water moeten worden weggepompt. Hoewel sommige kernen verschillen in de wijze van waterafvoer (primair spuien of spuien en pompen) tot en met 2060 (cf. W+-scenario) lijken de verschillen niet groot. Wij hebben geen aanwijzing gevonden dat ze significant zijn. Ook in het PlanMER (Grontmij, 2010b, p. 168) worden de effecten op externe veiligheid van de verschillende kernen ten opzichte van 2100-Robuust verwaarloosbaar geacht en daarom getypeerd als nul ('o').

6.10.2 Geluid- en lichthinder

Hinder voor omringende woningen geldt als een klassiek voorbeeld van een extern effect in een KBA. Net als bij externe veiligheid gaat het bij dit effect vooral om elementen die niet gebaseerd zijn op waterveiligheid. Relevante elementen betreffen de duurzame opwekking van energie. Deze elementen bevinden zich echter in een dun bevolkt gebied. Op en rond de Afsluitdijk is alleen Den Oever een echt dorp. De basiselementen die eventueel geluid- en lichthinder zouden kunnen veroorzaken bevinden zich echter in het nauwelijks bewoonde deel van Breezanddijk (4 inwoners) tot Kornwerderzand (23 inwoners).

Van lichthinder door energieregerelateerde basiselementen is zelfs überhaupt geen sprake. Eventueel zou er geluidhinder kunnen optreden door de pompen in de getijcentrale, maar hiervoor mag worden aangenomen dat het verschil met het geluidniveau van het huidige sluizencomplex mag worden verwaarloosd. Daarom is het effect van geluid- en lichthinder voor alle projectalternatieven gelijk aan nul ('o'), zie ook het PlanMER (Grontmij, 2010b, p.169).

6.10.3 'Militair gebruik'

Binnen het project Toekomst Afsluitdijk is handhaving van het huidige militair gebruik (zie paragraaf 2.4) een randvoorwaarde. De locatie Breezanddijk biedt een voor Nederland (vrijwel?) unieke mogelijkheid om op verschillende punten tegelijkertijd metingen te verrichten. Er wordt gemeten vanaf Breezanddijk, de Afsluitdijk en de kust van Noord-Holland. Omdat het gaat om het noordwestelijke deel van het IJsselmeer, heeft in beginsel geen van de projectalternatieven een effect op het genoemde 'militair gebruik'.

Voor de kernen met een tussenmeer (Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine) dient bij de vaststelling van het uiteindelijke ontwerp van het tussenmeer rekening te worden gehouden met de ligging van het schietterrein. Het tussenmeer grenst in beide alternatieven bij Breezanddijk aan de Afsluitdijk. Vooral het gebied waar de afgeschoten munitie neerkomt, is van belang voor de mogelijkheden van militair gebruik. De positie van waar af wordt geschoten, is minder van belang. Eventueel zou bekeken kunnen worden of het schietterrein (het deel van het IJsselmeer waar de afgeschoten munitie terecht komt) zou kunnen worden verschoven. Dit lijkt geen effect te hebben voor de inrichting op Breezanddijk, zodat de kosten hiervan verwaarloosbaar worden geacht. Het effect op militair gebruik wordt daarom getypeerd als nul ('o').

7 Conclusies uit ‘aanvullende’ KBA’s componenten

De welvaartseffecten van de componenten uit paragraaf 4.4 zijn door Decisio (Hoefsloot en De Pater, 2010) geanalyseerd door het maken van KBA’s voor elk van de genoemde componenten. Voor de energiecomponenten heeft Decisio gebruik gemaakt van onderzoek van ECN (Lako et al., 2010). Naar het oordeel van het CPB zijn hierbij de geëigende methodieken correct toegepast.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van de componenten weergegeven. Specifieke aandacht wordt hierbij besteed aan synergie-effecten en of de Afsluitdijk een logische plek is om een component te realiseren. Hierbij wordt de indeling van de componenten uit Tabel 4.8 tot en met Tabel 4.11 aangehouden. Door nieuw verkregen informatie zijn er door het CPB enkele aanpassingen doorgevoerd⁵⁸ in de door Decisio uitgevoerde analyses. Deze aanpassingen zijn al verwerkt in onderstaande conclusies.

7.1 Componenten: Duurzame energie

Zonnecellen op de Afsluitdijk vanaf 2020 kosten ruwweg twee keer zoveel als ze opleveren. De baten van verminderde CO₂-uitstoot zijn hierbij al meegerekend, zoals we ook doen voor alle andere vormen van energieopwekking. ECN verwacht dat de kosten van zonne-energie sterk zullen dalen tussen 2020 en 2030, waardoor de kostprijs van zonne-energie rond die van windenergie komt te liggen. Ook dan zijn de kosten nog steeds 50% hoger dan de opbrengsten. Zonne-energie op een andere locatie, zoals Zuid-Europa of Afrika, is daarbij rendabeler dan op de Afsluitdijk. Een lange ‘solar-wall’ kan wel bijdragen aan de uitstraling van de dijk. De synergievoordelen van gelijktijdige aanleg van de zonne-energie met de dijkversterking/verhoging zijn beperkt, zodat vanuit welvaartseconomisch perspectief losstaand over beide zaken besloten kan worden.

De mogelijkheden en effecten van *blue energy* zijn al besproken in hoofdstuk 6. De conclusie daarvan is dat een pilot op de Afsluitdijk om de techniek verder te ontwikkelen logisch lijkt. Eventueel is het mogelijk ruimte te reserveren voor een grote blue energy-centrale in de toekomst, maar gezien de grote onzekerheid over de technische en economische haalbaarheid is de kans groot dat een voorinvestering geen positief rendement met zich meebrengt.

Stromingsenergie (energieopwekking tijdens het spuien onder vrij verval) is een van de duurste onderzochte energiecomponenten en ECN verwacht dat dit de komende jaren het geval blijft. Daarbij zullen de mogelijkheden voor stromingsenergie sterk afnemen (en zelfs op den duur afwezig zijn) bij een stijgende zeespiegel in combinatie met een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. De opbrengsten (in contante waarde) zijn beduidend lager dan de jaarlijkse onderhoudskosten. Laat staan dat de investeringskosten worden terugverdiend.

De mogelijkheden van *getijenergie* zijn al besproken in hoofdstuk 6. De energieopbrengst van een daarvoor noodzakelijke pompturbinevoorziening is beperkt. Het realiseren van een dergelijke turbine-voorziening is alleen zinvol als de meerkosten nihil zijn. Indien er om andere redenen een ‘tussenmeer’ in het IJsselmeer wordt gerealiseerd met pompcapaciteit in de Afsluitdijk, dan kan zich een dergelijke situatie voordoen.

Energieopwekking met vliegers is momenteel niet realistisch. Net als bij blue energy is de techniek nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. Bij toepassing op de Afsluitdijk kunnen er conflicten optreden met luchtvaart en militair gebruik.

⁵⁸ De nieuw verkregen informatie en de daaruit volgende aanpassingen zijn gecommuniceerd met het projectteam Toekomst Afsluitdijk.

Alleen als pilot- of demonstratieproject in combinatie met een duurzaamheidscentrum is een logische relatie te leggen, anders ligt de Afsluitdijk als locatie niet voor de hand.

Windmolenparken op de dijk zelf kwamen niet in de visies voor (wel in de 'halters' van de dijk) en zijn ook niet verder uitgewerkt. ECN (Hoefsloot en De Pater, 2010) geeft aan dat windturbines op de dijk wel een interessante optie zijn vanuit het oogpunt van rendabele duurzame energieopwekking. Windturbines op de Afsluitdijk kunnen namelijk geplaatst worden tegen ongeveer dezelfde kosten als turbines op land, maar ze produceren bijna net zo veel als de veel duurdere windturbines op zee. Er lijkt daarmee een mogelijkheid te ontstaan om windenergie rendabel op te kunnen wekken. Dit zal moeten worden afgewogen tegenover de verandering van het cultuurhistorische landschap van de dijk en mogelijke ecologische effecten.

7.2 Componenten: Natuur

Kwelders in de Waddenzee betekenen een behoorlijke verbetering van de natuurwaarde in de Waddenzee indien zowel gekeken wordt naar negatieve én positieve natuureffecten. Het levert per saldo zo'n 3.600 natuurlinies op; een natuurwinst van 30% ten opzichte van 2100-Robuust. Deze natuurwinst is ongeveer twee- of driemaal zo groot als de natuurwinst van een extra vispassage (kosten 10 mln). Ondanks deze positieve natuureffecten is er een hoog risico op significant negatieve natuureffecten in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. Dit komt vanwege het verdwijnen van permanent overstroomde zandbanken door de aanleg van de kwelders. De permanent overstroomde zandbanken vallen onder (beschermde) Natura 2000-gebied. Voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van deze wet dienen er in principe geen significant negatieve effecten op te treden. Op basis van een vergelijking van natuurlinies en kosten verdienen kleine kwelders (500 ha; 500 meter breed en 10 km lang) de voorkeur boven grotere kwelders. Het aantal natuurlinies is net zo groot, terwijl de kosten fors lager zijn. De aanlegkosten van 500 ha kwelders zijn 105 mln euro plus onderhoudskosten van 30 mln euro (contante waarde, incl. btw en kosten Rijkswaterstaat).

De verschillende *zoet-zoutovergangen* zijn in het Decisio-rapport onvoldoende gedetailleerd beschreven om de KBA-effecten van deze componenten te kunnen weergeven. Uit nadere informatie van de Grontmij en Rijkswaterstaat blijkt (zie paragraaf 6.6) dat een extra vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer ongeveer 1.500 natuurlinies oplevert. Een tweede extra vispassage levert mogelijk een soortgelijke winst in natuurlinies op, mits op voldoende afstand van de reeds gerealiseerde vispassages. Het is ook nog te overwegen een derde additionele vispassage te realiseren. In het Decisio-rapport worden vispassages zoet-zoutovergangen genoemd, edoch niet alle door Decisio genoemde zoet-zoutovergangen betreffen een volledige vispassage tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. De kosten van een volledige vispassage bedragen zo'n 10 mln euro. Er zijn verschillende vormen van vispassages. Een dergelijke passage kan worden gerealiseerd door aanpassingen in spui-beheer met aanvullende fysieke maatregelen (kosten tussen de 6 en 36 mln euro, nominale marktprijzen 2009 inclusief btw en kosten Rijkswaterstaat). Een vispassage kan ook worden gerealiseerd als een apart object. Dan bedragen de kosten afhankelijk van de uitvoeringsvorm tussen de 13 en 20 mln euro.

Natuurvriendelijke oevers in het IJsselmeer hebben een positief effect op de natuur. Of dit een merkbare verbetering betreft van de natuurwaarde is niet bekend. Natuurvriendelijke oevers kosten per 5 ha (50 meter breed, 1 km lang) 1,9 mln euro. Bij gelijktijdige aanleg met aanpassingen aan het dijklichaam kunnen deze kosten met 20% dalen tot 1,5 mln euro per 5 ha.

De componenten 'tweede fase zanddijk NA' en 'tweede fase zanddam bij WM' zijn onvoldoende gedetailleerd beschreven om de KBA-effecten te kunnen weergeven.

7.3 Componenten: Recreatie en ruimtelijke ontwikkeling

Een *duurzaamheidscentrum* ('World Sustainability Centre' of 'Science Centre') op de Afsluitdijk is lastig te exploiteren. De investeringskosten bedragen zo'n 50 mln euro (contant, incl btw). De exploitatiekosten (contante waarde, incl btw) bedragen zo'n 90 mln euro, waarvan zo'n 70% kan worden gedekt uit opbrengsten. Hotelgasten van een apart commercieel geëxploiteerd hotel met 100 kamers zijn meegenomen in de bezoekersaantallen van het duurzaamheidscentrum dat ook een congresfunctie heeft. Zonder hotel zijn de genoemde exploitatieopbrengsten overschat.

Naast het duurzaamheidscentrum zijn er ideeën voor viskweek, zilte teelt, een vakantiepark en uitbreiding van de camping op Breezanddijk. Deze ideeën zijn te beperkt uitgewerkt om hiervan de effecten te kunnen benoemen.

7.4 Componenten: Mobiliteit

De aanleg van een *naviduct* op de Afsluitdijk is te overwegen indien er een nieuwe schutsluis wordt gebouwd. Een *naviduct* is hetzelfde als een aquaduct, maar dan voorzien van een schutsluis. Bij een *naviduct* wordt het wegverkeer met een ongelijkvloerse kruising onder de schutsluis doorgeleid waardoor het weg- en waterverkeer van elkaar gescheiden worden. De meerkosten ten opzichte van een even grote schutsluis bedraagt 23 mln euro bij Den Oever. De baten als gevolg van wachttijdreductie voor het wegverkeer en scheepvaart bedragen 15 mln, waardoor het kosten-batensaldo licht negatief (– 8 mln euro) is. Bij Kornwerderzand bedragen de meerkosten van een *naviduct* 30 miljoen euro ten opzichte van een even grote schutsluis en resteert uiteindelijk ook een negatief kosten-batensaldo: – 16 miljoen euro. Nader onderzoek is nodig ten aanzien van de 'flexibiliteit' van een *naviduct* voor een andere zeespiegelstijging ten opzichte van de 'flexibiliteit' van een gewone schutsluis. Dit aspect is in het Decisio-rapport namelijk nog niet in voldoende mate uitgewerkt. Het is niet bij voorbaat zeker dat een *naviduct* beduidend minder flexibel is voor andere zeespiegelstijgingen en economische ontwikkelingen.

Een *grotere schutsluis* of *naviduct* (type Vb in plaats van Va, dus 170-190 meter lang in plaats van 95-135 meter bij een gelijke breedte) leidt tot wachttijdreductie en schaalvoordelen voor het goederenvervoer. De baten hiervan zijn maximaal 16 mln euro. De meerkosten van een *grotere sluis* of *naviduct* zijn niet bekend, waardoor ook het kosten-batensaldo niet bekend is.

Hoge bruggen (30 meter) over de sluizen bij Den Oever en/of Kornwerderzand kosten zo'n 160 mln euro extra. De baten als gevolg van wachttijdreductie zijn zo'n 15 mln euro. Het kosten-batensaldo is dus zeer negatief (– 145 mln euro). Dit saldo is exclusief de effecten op de landschappelijke kwaliteit (een '?'-post). De aanleg van een *naviduct* is dus duidelijk te verkiezen boven een hoge brug.

Een van de ideeën is de realisatie van een *alternatieve vaarroute naar Harlingen* gelijktijdig met de bouw van een nieuwe schutsluis bij Kornwerderzand. Hierdoor zou de huidige vaarroute Boontjes niet uitgediept hoeven te worden. Aangezien Boontjes al in 2011 wordt uitgediept, komt de besparingsmogelijkheid – voorlopig – te vervallen. De kosten van de aanleg van een alternatieve route bedragen 5 mln euro.

De aanleg van een aparte rijstrook voor *hoogwaardig openbaar vervoer (HOV)* plus de exploitatie ervan is niet rendabel. Daarvoor zijn er nu en in de toekomst te weinig ov-reizigers. Ook levert een aparte rijstrook voor het HOV geen reistijdwinst op voor de reizigers. Op de Afsluitdijk is geen congestie, dus zijn de bussen op de gewone snelweg even snel. Mogelijk kan er een *tweede –recreatief– fietspad* worden aangelegd op de zanddijk in het IJsselmeer bij de kernen Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine. De aanlegkosten bedragen 9 mln euro. De meerwaarde en het gebruik van een dergelijke route zijn onbekend, net als het effect op de natuur van een dergelijk fietspad.

8 Gevoeligheidsanalyses en extra varianten

Introductie

In een gevoeligheidsanalyse wordt nagegaan in welke mate de uitkomsten van de KEA afhankelijk zijn van een verandering van één of meerdere aannamen. De invloed van de volgende veranderingen is onderzocht:

1. ‘Pompen’ versus ‘spuien’: pompen in plaats van spuisluizen voor Basisalternatief,
2. Een andere werkhypothese: verhoging IJsselmeerpeil,
3. Uitstel nieuwbouw spuisluis Kornwerderzand (2100-Robuust, Monument in Balans, WaddenWerken),
4. Alternatieven voor aanvullende maatregelen dijkversterkingen (Basisalternatief en WaterMachine),
5. Gefaseerde aanleg van schutsluizen (alle projectalternatieven behalve Basisalternatief),
6. Nieuwbouw kunstwerken voor Basisalternatief,
7. Variatie van de discontovoet van 4% tot 7% voor de investerings-, onderhouds- en energiekosten (alle projectalternatieven),
8. Effect van variatie van de discontovoet tussen 2,5% en 5,5% op de veiligheidsbaten.

Verandering 1 betreft de meest belangrijke gevoeligheidsanalyse: er wordt gezocht naar optimalisatie van de kernen ten aanzien van spui- en pompkosten.

Verandering 2 gaat in op de effecten indien zou zijn gekozen voor een andere werkhypothese, namelijk het verhogen van het IJsselmeerpeil.

De veranderingen 3, 4, 5 en 6 verkennen mogelijkheden om bepaalde elementen in de kernen te veranderen. Bekeken wordt of het mogelijk is de kernen goedkoper te maken dan wel flexibeler te maken voor de onzekere zeespiegelstijging.

Verandering 7 betreft een voor KBA's en KEA's gebruikelijke gevoeligheidsanalyse met betrekking tot de discontovoet.

Tot slot gaat verandering 8 in op de gevoeligheid van de discontovoet voor de baten van (over)veiligheid.

Bovengenoemde veranderingen worden in overeenkomstig genummerde paragrafen uitgewerkt. De belangrijkste conclusies uit dit hoofdstuk worden in de laatste paragraaf samengevat.

8.1 Pompen in plaats van spuisluizen: ‘pompen’ versus ‘spuien’

8.1.1 Inleiding

Een volledige afweging tussen kosten en baten van ‘pompen’ versus ‘spuien’ – en een visie op het toekomstig peil(beheer) van het IJsselmeer – valt buiten het bestek van dit rapport. Zie voor een beschouwing van de voor- en nadelen van spuien dan wel pompen de bespreking van de werkhypothese in paragraaf 3.3 en de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 8.2.

De geformuleerde werkhypothese heeft wel invloed op de ‘optimaliteit’ van de kernen uit hoofdstuk 4. In vrijwel alle kernen wordt in 2020 fors geïnvesteerd in spuicapaciteit, terwijl in 2035 al de noodzaak (door het W+-scenario en een gelijk blijvend IJsselmeerpeil) ontstaat om pompcapaciteit (van 900 à 1.000 m³/s) te realiseren die een groot deel van die spuicapaciteit weer overbodig maakt. Dit lijkt verre van optimaal.

Om dit nader te concretiseren zijn er vier varianten van Basisalternatief ontwikkeld. Dit omdat Basisalternatief de goedkoopste kern bleek te zijn in contante waarde. Veel van de varianten zijn overigens ook van toepassing op de andere kernen. De effecten zullen dan vergelijkbaar zijn.

In de eerste variant 'Ba-geen nieuwe spuien na 2035' worden de spuien bij Den Oever en Kornwerderzand in 2050 niet meer nieuw gebouwd, maar gesloten.

De tweede variant 'Ba-pompen+spui' probeert zonder de bouw van ESA tegen zo laag mogelijke (contante) kosten minimaal eenzelfde waterafvoercapaciteit te bieden als minimaal nodig volgens de werkhypothese en de oorspronkelijke kernen.

In 'Ba-pompen' wordt dit nagestreefd door alleen nog te investeren in pompen.

Ten slotte wordt getracht in de variant 'Ba-aangepast ESA' zo laag mogelijke kosten te verkrijgen door uit te gaan van een aangepast ESA-ontwerp dat zo lang mogelijk functioneert als spui en dan wordt omgebouwd tot pomp. Deze vier varianten gaan uit van het W+-scenario, een gelijkblijvend IJsselmeerpeil en een uiteindelijke benodigde pompcapaciteit van 2.000 m³/s.

Tabel 8.1 geeft een overzicht van de beschouwde kunstwerken voor waterbeheer. Deze kunstwerken (en bijbehorende kosten) worden in de verschillende varianten gebruikt. Het idee om een pomp te realiseren in de bestaande spui Kornwerderzand zoals is voorgesteld in een van de projectalternatieven is technisch niet haalbaar. Mogelijk kan dit idee om pompen in oude kunstwerken in te bouwen elders wel worden gerealiseerd. De varianten kunnen dan mogelijk nog verder worden verbeterd.

Tabel 8.1 Overzicht kunstwerken waterbeheer*

Kunstwerken	Nominale kosten mln euro
Extra Spui Afsluitdijk (ESA)(a)	300
Aangepast ESA (incl ombouw tot pomp 900 m ³ /s)	640
Optimaal gemaal (pompcapaciteit 1.000 m ³ /s)	500
Nieuwbouw spui Den Oever	240
Nieuwbouw spui Kornwerderzand	160
Renovatie spui Den Oever	130
Renovatie spui Kornwerderzand	100

*Prijsspeil 2009, marktprijzen incl. kosten Rijkswaterstaat.
(a) In het meest recente MIRT-projectenboek wordt voor de uitvoering van ESA vooralsnog rekening gehouden met een benodigd budget van 246 mln euro (alleen dit bedrag is in prijspeil 2010). Bedragen afgerond op veelvoud van 10 mln euro.

Aan het eind van deze paragraaf wordt de goedkoopste van de vier varianten vergeleken met een zo goedkoop mogelijke variant van Basisalternatief die uitgaat van een zeespiegelstijging die aan de onderkant van de bandbreedte van de zeespiegelstijging ligt (zie bijlage E). Bij een lage (en langzame) zeespiegelstijging kan er zo lang mogelijk worden gespuid zonder het IJsselmeerpeil te hoeven verhogen. Op basis hiervan kan dan worden vastgesteld of de keuze voor 'spuien' eventueel goedkoper uitpakt dan het vroegtijdig overstappen op 'pompen'.

8.1.2 Bespreking vier varianten

De eerste variant: 'Ba-geen nieuwe spuien na 2035'

Bij de eerste variant 'Ba-geen nieuwe spuien na 2035' worden de spuien bij Den Oever en Kornwerderzand in 2050 niet meer nieuw gebouwd, maar gesloten. In 2020 wordt, gelijk aan Basisalternatief, ESA gebouwd en de spui bij Den Oever en Kornwerderzand gerenoveerd. Ook wordt er in 2035 een pomp gebouwd van 900 m³/s (i.p.v. 1.000 m³/s). Immers, een geïnstalleerde pomp in 2035 van 900 m³/s in combinatie met de spui ESA biedt volgens de werkhypothese waarschijnlijk voldoende capaciteit⁵⁹ tot minimaal 2060. Het nieuw bouwen van spuien in 2050 in Basisalternatief terwijl dan al is overgegaan op pompen kan als 'niet logisch' worden betiteld: vandaar deze variant. In 2060 wordt er een pomp van 1.100 m³/s gebouwd (i.p.v. 1.000 m³/s).

De contante kosten van variant 'Ba-geen nieuwe spuien na 2035' staat weergegeven in Tabel 8.2. Uit de tabel blijkt dit tot een besparing te leiden van 90 mln euro op de pomp- en spuikosten. In nominale termen is de besparing in investeringskosten 400 mln.

Tabel 8.2 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluisen en gemalen en energiegebruik*

	Ba – conform hfst 4	Ba – geen nieuwe spuien na 2035
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	120
Spuisluisen	610	530
Pompgemalen	300	280
Pomp-energiekosten	10	10
Totaal	1.390	1.300

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% en W+-scenario (prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

De tweede variant: 'Ba-pompen+spui'

De tweede variant, genaamd 'Ba-pompen+spui', probeert tegen zo laag mogelijke kosten minimaal dezelfde afvoercapaciteit te bieden als de al onderzochte kernen, alsmede te voldoen aan de minimale pompcapaciteiten zoals die volgen uit de werkhypothese. We combineren als het ware de pomp- en spuicapaciteit van WaterMachine (vanaf 2020 een pomp van 900 m³/s plus de spui bij Den Oever) met Basisalternatief (renovatie van spui bij Den Oever in 2020). Omdat een gerenoveerde spui bij Den Oever (in Basisalternatief) in 2050 moet worden vervangen, wordt in dat jaar een pomp gerealiseerd met een capaciteit van 600 m³/s. Een pomp met een dergelijke pompcapaciteit komt ongeveer overeen met de huidige spuicapaciteit bij Den Oever (zie bijlage G). Ten slotte wordt in 2060 nog een derde pomp gerealiseerd met een capaciteit van 500 m³/s opdat er conform de werkhypothese vanaf 2060 een minimale pompcapaciteit aanwezig is van 2.000 m³/s. Kornwerderzand wordt dus direct in 2020 gesloten in plaats van gerenoveerd en wordt ook niet meer nieuw gebouwd in 2050. Ook ESA wordt niet gerealiseerd. De keuzes voor de schutsluizen en het dijklichaam zijn in variant 'Ba-pompen+spui' identiek aan de oorspronkelijke kern Basisalternatief.

De contante waarde van deze variant 'Ba-pompen + spui' staat weergegeven in Tabel 8.3. Uit de tabel blijkt dit tot een besparing in contante waarde te leiden van 190 mln euro op de pomp- en spuikosten: een reductie van zo'n 20% op de oorspronkelijke spui- en pompkosten van Basisalternatief. In nominale bedragen is de besparing in investeringskosten nog veel groter: 800 mln euro.

⁵⁹ WaterMachine met ESA heeft een pomp 900 m³/s plus een spui in Den Oever. Dit lijkt volgens de gehanteerde werkhypothese voldoende tot 2060. Merk op dat de capaciteit van de spui Den Oever zo'n 60% is van die van ESA.

Tabel 8.3 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluisen en gemalen en energiegebruik*

	Ba-conform hfst 4	Ba-pompen + spui
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	120
Spuisluizen	610	140
Pompgemalen	300	580
Pomp-energiekosten	10	20
Totaal	1.390	1.200

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% en W+-scenario (prijsspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

De derde variant: 'Ba-pompen'

Het derde idee om Basisalternatief aan te passen is om waterbeheer zodanig in te richten dat er al vanaf 2020 alleen maar gepompt wordt. Deze variant wordt 'Ba-pompen' genoemd (zie Tabel 8.4). Alle spuisluizen worden in deze variant gesloten in 2020 en er worden geen nieuwe spuisluizen gebouwd. Ook ESA wordt dan niet gebouwd. Om minimaal dezelfde waterafvoercapaciteit te hebben als WaterMachine is een pomp van in totaal 1.500⁶⁰ m³/s nodig vanaf 2020. Vanwege de werkhypothese dient er in 2060 een additionele pomp van 500 m³/s te worden gebouwd. Dit levert volgens Tabel 8.4 een reductie in contante waarde op van 60 mln euro. Minder dus dan de vorige variant. De daling in de nominale investeringskosten is wel het grootst van de onderzochte varianten: 940 mln euro of 50% ten opzichte van Basisalternatief.

Tabel 8.4 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluisen en gemalen en energiegebruik*

	Ba – conform hfst 4	Ba – pompen
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	120
Spuisluizen	610	10
Pompgemalen	300	830
Pomp-energiekosten	10	20
Totaal	1.390	1.330

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% en W+-scenario (prijsspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

De vierde variant: 'Ba-aangepast ESA'

Ten slotte is er nog gekeken naar een variant, genaamd 'Ba-aangepast ESA' van Basisalternatief waarin een *aangepast* ESA-ontwerp wordt gebouwd in 2020, dat tot 2025 alleen als spui functioneert. Een aangepast ESA-ontwerp betekent dat het oorspronkelijke ESA-kunstwerk bij aanleg al circa 15 meter langer moet worden (in de stroomrichting). Na 2025 wordt dit kunstwerk langzaam omgebouwd tot pompgemaal van uiteindelijk 900 m³/s. Deze capaciteit dient vanwege het W+-scenario – zie de werkhypothese – in 2035 bereikt te zijn. De spui in Den Oever wordt gerenoveerd in 2020. In 2050 wordt deze spui vervangen door een nieuw pompgemaal van 600 m³/s. De spui in Kornwerderzand wordt buiten gebruik gesteld. Ten slotte dient er in 2060 nog een additionele pomp van 500 m³/s te worden gebouwd conform de werkhypothese. De kosten van deze variant staan weergegeven in Tabel 8.5.

⁶⁰ WaterMachine heeft tussen 2020 en 2060 een pomp van 900 m³/s plus de (nieuw gebouwde) spui bij Den Oever. Die spui komt ongeveer overeen met een pomp van 600 m³/s. In totaal dus 1.500 m³/s.

Tabel 8.5 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluisen en gemalen en energiegebruik *

	Ba – conform hfst 4	Ba – aangepast ESA
Dijklichaam	350	350
Schutsluisen	120	120
Spuisluisen	610	140
Pompgemalen	300	550
Pomp-energiekosten	10	20
Totaal	1.390	1.270

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% en W+-scenario (prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

De variant 'Ba-aangepast ESA' levert in contante waarde een besparing op ten opzichte van het oorspronkelijke Basisalternatief van 120 mln euro, dus niet de goedkoopste variant. In nominale termen bedraagt de besparing 620 mln euro ten opzichte van het oorspronkelijke Basisalternatief. Ook dat is minder dan in de variant 'Ba – pompen +spui'.

8.1.3 Blijven 'spuien' vanaf 2020 of dan al overstappen op 'pompen': wat is het goedkoopst?

Uit de bovenstaande analyse volgt dat er fors bespaard kan worden op de spui- en pompkosten. De kosten daarvoor zijn in Basisalternatief 920 mln euro (contante waarde, nominaal 1.950 mln). In contante waarde is 'Ba-pompen + spui' het goedkoopst. De spui- en pompkosten bedragen dan 730 mln euro: een besparing van bijna 20% of 190 mln euro. In nominale termen is 'Ba-pompen' het goedkoopst: nominaal 940 mln euro goedkoper, een besparing van 50%.

Het is logisch dat op de kosten van waterafvoer bespaard kan worden. Basisalternatief, de goedkoopste van de onderzochte kernen, is ontworpen om te blijven spuien. Vanwege het W+-scenario en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil moet er echter al snel gepompt worden, wat tot extra kosten leidt. Een interessante vraag is of Basisalternatief wel goedkoper is dan de onderzochte varianten indien de zeespiegel 'zo weinig mogelijk' stijgt.

Kosten van spuien (o.a. ESA) en pompen (zonder ESA) bij een lage zeespiegelstijging

Basisalternatief wordt daarom aangepast aan een zo laag mogelijke zeespiegelstijging (scenario 'laag' genoemd) en er wordt zo lang als mogelijk gespuid. Hierbij maken we gebruik van de gevoeligheidsanalyse uit paragraaf 8.3 waaruit blijkt dat het in vrijwel alle scenario's verstandig is om de spui in Kornwerderzand in 2020 te sluiten in plaats van te renoveren. ESA is in 2020 gebouwd en de huidige spui bij Den Oever is in 2020 gerenoveerd. In 2050 wordt de spui bij Den Oever en Kornwerderzand nieuw gebouwd. Ook bij dit 'lage' scenario moet er toch op een gegeven moment een pomp geïnstalleerd worden op de Afsluitdijk bij een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. Die pomp is echter pas in 2070 nodig. Deze variant wordt aangeduid met 'Ba - zonder renovatie Kwz'. Dit is de goedkoopste variant die wij hebben kunnen bedenken, waarbij ESA wordt gebouwd en vervolgens zo lang als mogelijk gespuid wordt.

Tabel 8.6 vergelijkt variant 'Ba - zonder renovatie Kwz' (met ESA) met de variant 'Ba-pompen +spui' (zonder ESA) bij het 'lage' scenario voor de zeespiegelstijging. De variant 'Ba-pompen +spui' wordt ook aangepast aan scenario 'laag'. De extra pompcapaciteit (500 m³/s) in 2060 komt te vervallen. De gerenoveerde spuisluis bij Den Oever wordt net als bij het W+-scenario vervangen door een pomp van 600 m³/s.

Tabel 8.6 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluizen en gemalen en energiegebruik* bij scenario 'laag'

	Ba – zonder renovatie Kwz	Ba – pompen + spui
Dijklichaam	260	260
Schutsluizen	120	120
Spuisluizen	510	140
Pompgemalen	30	550
Pomp-energiekosten	0	10
Totaal	930	1.080

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% (prijsspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

Uit bovenstaande tabel blijkt dat bij een lage zeespiegelstijging het zo lang als mogelijk spuien in contante waarde goedkoper is dan het direct als (gedeeltelijk) overstappen op pompen. Het verschil bedraagt 150 mln euro ten gunste van 'Ba – zonder renovatie Kwz'. In nominale kosten is de verhouding omgekeerd. De nominale spui- en pompkosten van de inzet op spuien bij 'Ba-zonder renovatie Kwz' (1.290 mln euro) blijkt aanmerkelijk hoger dan de nominale kosten van 'Ba-pompen + spui' (890 mln euro).

Beide varianten uit Tabel 8.6 bij het W+-scenario en 'hoogste' zeespiegelscenario

We vergelijken deze 'geoptimaliseerde' varianten voor spuien ('Ba-zonder renovatie Kwz') en pompen ('Ba-pompen + spui') ook bij het W+-scenario en het 'hoogste' scenario voor de zeespiegelstijging (zie paragraaf 6.3).

Onderstaand bespreken we eerst de logische en nodige veranderingen aan de spui- en pompcapaciteit bij respectievelijk het W+-scenario en het 'hoge' scenario. Daarna worden in Tabel 8.7 en Tabel 8.8 de kosten vergeleken van de beide varianten: 'Ba – zonder renovatie Kwz' en 'Ba – pompen + spui' voor respectievelijk het W+-scenario en het 'hoge' scenario. De reden dat we dit doen is om te kijken onder welke scenario's welke variant goedkoper is. Tot slot wordt geconcludeerd.

Benodigde aanpassingen aan de beide varianten voor het W+- en het 'hoge' scenario

De veranderingen aan het dijklichaam en de schutsluizen worden niet benoemd. Zie hiervoor de beschreven aanpassingen voor Basisalternatief uit bijlage E.

Bij het W+-scenario wordt voor variant 'Ba - zonder renovatie Kwz' in 2020 ESA gebouwd en de spui bij Den Oever gerenoveerd. De spui bij Kornwerderzand wordt in 2020 gesloten en in 2025 nieuw gebouwd. Ook wordt er in 2035 een pomp gebouwd van 900 m³/s. In 2050 wordt de spui bij Den Oever gesloten. In 2060 wordt er een pomp van 1.100 m³/s gebouwd. Bij het 'hoge' scenario zijn vrijwel dezelfde maatregelen nodig. De enige uitzondering betreft de additionele pomp van 1.100 m³/s die al in 2056 nodig is in plaats van 2060.

De variant 'Ba – pompen + spui' in het W+-scenario is bovenstaand al beschreven. In het 'hoge' scenario is de variant vrijwel identiek. Alleen de realisatie van de derde pomp met een capaciteit van 500 m³/s moet in 2056 geschieden in plaats van in 2060.

Een vergelijking van de kosten van beide varianten bij het W+-scenario en het 'hoge' scenario

Tabel 8.7 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluizen en gemalen en energiegebruik* bij het W+-scenario

	Ba – zonder renovatie Kwz	Ba – pompen + spui
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	120
Spuisluizen	560	140
Pompgemalen	280	580
Pomp-energiekosten	10	20
Totaal	1.320	1.200

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% (prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

Tabel 8.8 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluizen en gemalen en energiegebruik* bij scenario 'hoog'

	Ba – zonder renovatie Kwz	Ba – pompen + spui
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	120
Spuisluizen	560	140
Pompgemalen	300	580
Pomp-energiekosten	10	30
Totaal	1.340	1.230

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5% (prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

De conclusie is dat bij zowel het W+- als het 'hoge' scenario de eerdere keuze voor pompen in 'Ba – pompen + spui' in contante waarde zo'n 120 mln goedkoper uitpakt. In nominale kosten is het voordeel van 'Ba - pompen + spui' bij het W+ en het hoge scenario ongeveer even groot als bij het lage scenario: zo'n 450 mln euro.

Conclusie

Kortom: in een scenario met een lage zeespiegelstijging is de keuze voor primair spuien in contante waarde zo'n 150 mln euro goedkoper dan de keuze om nieuwe waterbeheer-kunstwerken voortaan direct als pomp te bouwen. In nominale kosten is het direct kiezen voor (gedeeltelijk) pompen wél goedkoper (450 mln euro), zelfs bij een lage zeespiegelstijging. Bij een hogere zeespiegelstijging pakt de keuze voor nieuwe spuisluizen (o.a. bouw ESA) in contante waarde zo'n 120 mln euro duurder uit dan zo snel als mogelijk overgaan op pompen.

In bovenstaande kostenvergelijking zijn nog niet de waarschijnlijke (veiligheids)baten van pompen ten opzichte van spuien meegenomen. Indien deze baten zo'n 200 mln euro bedragen, dan zou de keuze voor het direct kiezen voor pompen (en niet bouwen van ESA) als een no-regret kunnen worden betiteld. Dit vereist echter onderzoek naar deze veiligheidsbaten. De KBA Norm Afsluitdijk biedt de mogelijkheid voor dit onderzoek.

8.2 Effecten bij de andere werkhypothese: verhoging IJsselmeerpeil

In deze KEA Afsluitdijk is – op basis van een werkhypothese (zie paragraaf 3.3) – uitgegaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. Bij een ‘voldoende’ stijging van de zeespiegel, dienen er dan pompen in de Afsluitdijk geïnstalleerd te worden die het overtollige IJsselmeerwater afvoeren naar de Waddenzee. Het moment waarop deze pompen nodig zijn, hangt uiteraard af van de zeespiegelstijging zoals is geanalyseerd in het kader van de flexibiliteit (zie paragraaf 6.3) en in de gevoeligheidsanalyse ‘pompen versus spuien’ (zie paragraaf 8.1).

In deze paragraaf worden de effecten besproken indien gekozen zou zijn voor de werkhypothese ‘het meestijgen van het IJsselmeerpeil met een zeespiegelstijging opdat minimaal de mogelijkheid tot spuien open blijft’. Aandacht wordt vooral besteed aan welke effecten in deze KEA ook gelden indien er voor deze alternatieve werkhypothese wordt gekozen.

De eerste conclusie moet zijn dat een keuze voor een peilverhoging niet automatisch hoeft te betekenen dat er ook wordt gekozen om IJsselmeerwater te spuien. Ook bij een peilverhoging is het goed mogelijk om het water weg te pompen. De energiekosten zullen niet hoog zijn. Immers, deze kosten hangen (lineair) af van het niveauverschil tussen het IJsselmeer en de Waddenzee. Als het IJsselmeerpeil hoger is dan het peil in de Waddenzee, dan kost het wegpompen amper energie.

Ook bij een peilverhoging zal er fors geïnvesteerd moeten worden in spuien dan wel pompen. Welk van beide dan het goedkoopst is, behoeft nader onderzoek. Het lijkt logisch te veronderstellen dat de kosten voor spuien dan wel pompen bij een hoger IJsselmeerpeil (en een hogere zeespiegel) min of meer vergelijkbaar zijn met de kosten bij een lage zeespiegelstijging en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. Uit paragraaf 8.1 kan worden opgemaakt dat in dat geval (primair) spuien in contante waarde zo’n 150 mln euro goedkoper is dan pompen. In nominale investeringskosten blijkt pompen 400 mln goedkoper dan spuien. Deze kosten behoeven echter nader onderzoek. Wel heeft pompen (ook bij een IJsselmeerpeilverhoging) waarschijnlijk veiligheidsbaten in vergelijking met spuien. Mogelijk leidt dit zelfs tot besparingen in de kosten voor dijkverhoging. Misschien is het dus zelfs bij een verhoging van het IJsselmeerpeil goedkoper om voor pompen te kiezen. Daarbij biedt pompen meer zekerheid omtrent de waterafvoer. Spuimogelijkheden hangen onder andere af van de wind. Hierdoor kan met pompen mogelijk eenvoudiger een variabel IJsselmeerpeil worden aangehouden: bijvoorbeeld een hoger peil in de nazomer (voor de zoetwatervoorraad) waarna in de winter het peil weer (snel) kan worden verlaagd ten behoeve van de veiligheid.

Een peilverhoging van het IJsselmeer verlaagt de veiligheid van de gebieden rond het IJsselmeer en Markermeer. Om dit risico te reduceren zijn zeer waarschijnlijk extra dijkverhogingen nodig. Ook zullen de pompkosten stijgen in de omliggende polders en zijn er mogelijk elders maatregelen (grondwater, kwelwater) nodig die het gevolg zijn van het verhoogde peil. Hoewel er geen kostenschatting bekend is, is het aannemelijk dat dit aanzienlijke kosten betreffen. Deze kosten komen bovenop de in de vorige alinea genoemde kosten voor spuien dan wel pompen. Het kiezen voor pompen en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil lijkt dus (veel) goedkoper dan het kiezen voor een verhoging van het IJsselmeerpeil.

De genoemde aanlegkosten (en technische haalbaarheid) van de verschillende kernen zijn vrijwel volledig gelijk⁶¹ indien er wordt besloten tot een verhoging van het IJsselmeerpeil. Dit betreft een situatie dat dit al tijdens het ontwerp bekend is. De uitzondering betreft de gerenoveerde spuien in Basisalternatief die tot 2050 blijven functioneren. Indien al voor 2050 het peil aanmerkelijk wordt verhoogd, dan moeten deze spuiconstructies worden aangepast. Omdat deze oude spuien in 2050 worden vervangen door nieuwe, levert een peilverhoging na 2050 geen probleem op voor Basisalternatief.

⁶¹ Zie Deltaprogramma IJsselmeergebied (2010). In de kostennota (Rijkswaterstaat, 2010) wordt er niet expliciet aandacht besteed aan welk IJsselmeerpeil is verondersteld. Uit overleg bleek dat men is uitgegaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil. De oorspronkelijke visies waarvan de kernen zijn afgeleid zijn echter wel ontworpen op een mogelijke verhoging van het IJsselmeerpeil met maximaal 1,5 meter (Rijkswaterstaat et al., 2009).

Indien het peil wordt verhoogd na aanleg van een bepaalde kern, moet rekening worden gehouden met beperkte aanpassingskosten. Bijvoorbeeld de inlaatconstructies voor het tussenmeer bij WaterMachine en de blue energy-centrale bij Natuurlijk Afsluitdijk.

De genoemde natuureffecten van de kernen zijn niet meer van toepassing bij een verhoging van het IJsselmeer. Dit behoeft nieuw onderzoek. Wel is bekend dat een hoger IJsselmeerpeil zelf mogelijk tot significant negatieve natuureffecten leidt. Peilverhoging met 25 cm is in de Risicobeoordeling Natura 2000 (Grontmij, 2010d) geanalyseerd. De kans op significant negatieve natuureffecten van deze peilverhoging en dus de kans dat men géén vergunning daarvoor krijgt in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998, wordt ‘relevant’ tot ‘hoog’ geschat.

Ook de geschatte effecten voor flexibiliteit en (over)veiligheid zijn niet meer van toepassing indien uit wordt gegaan van een peilverhoging.

De overige effecten op de strategische zoetwatervoorraad, landschap en monumenten, archeologie, wegverkeer, scheepvaart, externe veiligheid, geluid- en lichthinder en ‘militair gebruik’ zijn bij een peilverhoging gelijk aan de in hoofdstuk 5 genoemde effecten.

8.3 Uitstel nieuwbouw spuisluis Kornwerderzand

De spuicapaciteit van de ESA-spuisluis⁶² is groter dan de capaciteit van de huidige spuisluis bij Kornwerderzand. Door de bouw van ESA in 2020 verdubbelt de spuicapaciteit (+100%). Bij een zeespiegelstijging conform het W+-scenario zou deze verdubbeling tot 2035 voldoende moeten zijn. Mogelijk kan dan de nieuwbouw van de spui Kornwerderzand (met spuicapaciteit van 40% van ESA-capaciteit) later worden uitgevoerd dan 2020, zie Rijkswaterstaat (2010). Op basis van een eenvoudige interpolatie⁶³ van de benodigde spuicapaciteit bij het W+-scenario dient deze nieuwbouw dan in 2025 te geschieden. Bij een minder sterke zeespiegelstijging kan nieuwbouw van de spuisluis mogelijk verder worden uitgesteld.

Als de zeespiegel stijgt conform het ‘laagste’ KNMI-scenario (zie paragraaf 6.3), dan is de nieuwbouw van de spuisluis bij Kornwerderzand volgens eenzelfde eenvoudige interpolatie pas in 2050 nodig. Als de zeespiegel stijgt conform het ‘hoogste scenario’ (zie wederom paragraaf 6.3) dan is nieuwbouw – net als bij het W+-scenario – in 2025 nodig.

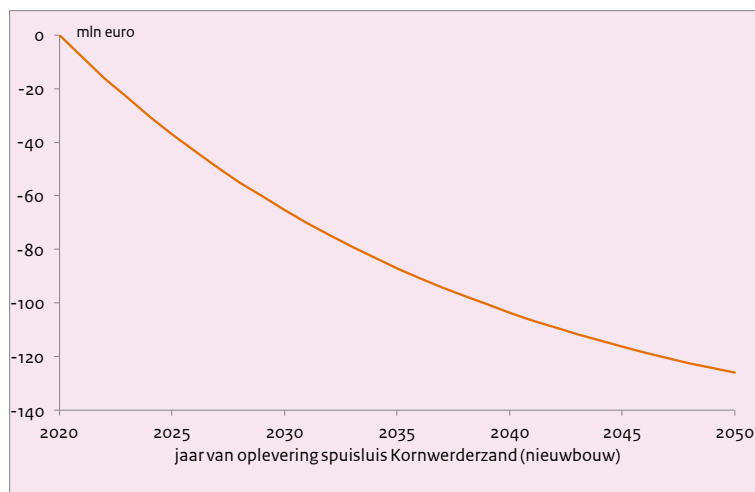
Uitstel van de nieuwbouw van de spuisluis te Kornwerderzand is van toepassing op alle projectalternatieven waarin Kornwerderzand als spui in gebruik blijft: 2100-Robuust, Monument in Balans en WaddenWerken. Het zou ook kunnen worden toegepast op Basisalternatief, waarbij de renovatie in 2020 van de spuisluis in Kornwerderzand in dat geval komt te vervallen. De effecten hiervan worden onderstaand uiteengezet.

De resultaten van dit uitstel ten opzichte van de kern 2100-Robuust zijn weergegeven in Figuur 8.1. Daarin zijn de extra kosten (negatief, dus een kostenbesparing) uitgezet tegen het jaar waarin de nieuwe sluis wordt opgeleverd. Uitstel tot het jaar 2025 zou een reductie van de contante waarde van de kosten met 40 mln euro betekenen. Dit bedrag loopt op tot 130 mln euro in 2050.

⁶² In dit rapport wordt ESA gelijktijdig met alle overige aanpassingen van de Afsluitdijk opgeleverd in 2020. Volgens het meest recente MIRT-projectenboek wordt ESA in 2017 opgeleverd. Het buitengebruik stellen van de spui Kornwerderzand kost 5 mln euro (marktprijs, nominaal). Deze kosten zijn al onderdeel van onder andere de kern 2100-Robuust, omdat daar een nieuwe spuisluis wordt aangelegd bij Kornwerderzand en dus ook dan de oude spuisluis buiten werking moet worden gesteld.

⁶³ ESA vergroot de spuicapaciteit met +100%-punt. Een zeespiegelstijging van 25 cm (W+-scenario, 2010-2035) verlaagt de spuicapaciteit met 100%-punt. Realisatie van ESA en het sluiten van de spui Kornwerderzand vergroot de (netto) spuicapaciteit met 60%-punt. Een zeespiegelstijging van 15 cm (n het jaar 2025) reduceert grofweg de spuicapaciteit met 60%-punt, waardoor dan de spui Kornwerderzand nodig is om niet onder de huidige spuicapaciteit (anno 2010) te zakken.

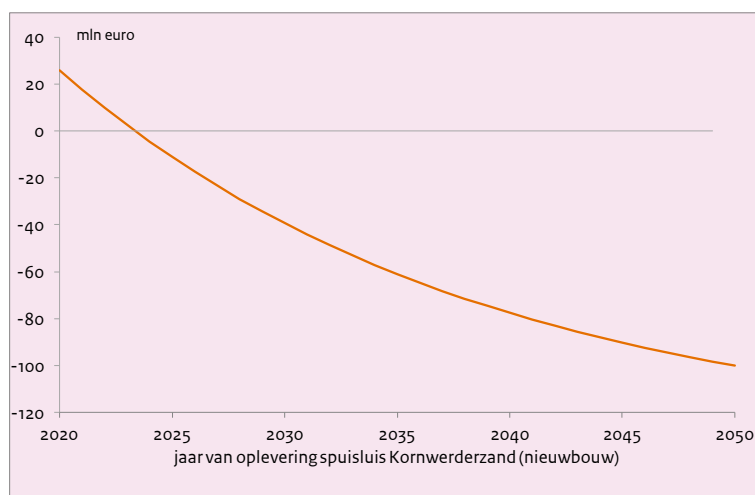
Figuur 8.1 Meerkosten van uitstel van de nieuwbouw van een spuisluis in Kornwerderzand*



*Ten opzichte van 2020, als functie van het opleverjaar (contante waarde in 2015 bij discontovoet van 5,5%).

De vraag is of bovenstaande conclusie ook geldt voor Basisalternatief. De vraag luidt dan: Moet spui Kornwerderzand worden gerenoveerd in 2020 of kan die beter gesloten worden in 2020 en pas nieuw worden gebouwd op het moment dat deze spui echt nodig is? Figuur 8.2 geeft het antwoord op deze vraag.

Figuur 8.2 Meerkosten van dichtzetten spui Kornwerderzand en uitstel van de nieuwbouw*



*Ten opzichte van oorspronkelijke kern Basisalternatief, als functie van het opleverjaar (contante waarde in 2015 bij discontovoet van 5,5%).

Uit bovenstaande figuur blijkt dat onder alle plausible scenario's voor de zeespiegelstijging het dichtzetten van spui Kornwerderzand en pas nieuw bouwen als dit nodig mocht blijken goedkoper is dan renovatie van deze spuisluis (en nieuwbouw in 2050). Uit de figuur valt af te lezen dat nieuwbouw van de spui in 2025 (conform het W+- en het 'hoge' scenario) zo'n 10 mln goedkoper in contante waarde. In het 'lage' scenario is nieuwbouw pas in 2050 nodig en bedraagt

de besparing ongeveer 100 mln euro. Nieuwbouw voor 2025 is volgens de scenario's van de zeespiegelstijging niet aan de orde.

Kortom: onder de onderzochte scenario's is het verstandig om Kornwerderzand in 2020 dicht te zetten en *niet* te renoveren, indien zowel de spuicapaciteit bij Den Oever blijft behouden als ESA wordt aangelegd. Nieuwbouw van Kornwerderzand kan dan worden uitgesteld tot het moment dat deze spui ook echt nodig is. De verklaring achter deze conclusie is dat renovatie van Kornwerderzand relatief duur is. Renovatie kost nominaal zo'n 100 mln euro, terwijl nieuwbouw 160 mln euro kost. De kosten van dichtzetten bedragen nominaal 5 mln euro.

8.4 Alternatieven voor aanvullende maatregelen dijklichaam

Voor Basisalternatief en WaterMachine wordt uitgegaan van een overslagbestendige dijk, die – bij een zeespiegelstijging volgens het W+-scenario – in respectievelijk 2050 en 2065 alsnog dient te worden opgehoogd of anderszins worden versterkt om te blijven voldoen aan de huidige wettelijke veiligheidsnorm van 1 op 10.000. In de definitie van Basisalternatief, zoals weergegeven in hoofdstuk 4, is gekozen om bij ophoging de dijkversterking conform de kern 2100-Robuust aan te leggen. De nominale kosten van deze tweede ophoging (450 mln euro) zijn even hoog als de kosten van het direct aanleggen van 2100-Robuust.

De dijkoplossingen van Monument in Balans (stormschild) en WaddenWerken (zandnok) hadden ook gekozen kunnen worden. Indien voor het stormschild van Monument in Balans wordt gekozen, bedragen de nominale kosten 380 mln euro. De kosten van de zandnok van WaddenWerken bedragen 360 mln euro. In beide gevallen evenveel als de kosten bij het direct aanleggen.

Soortgelijke berekeningen zijn ook mogelijk voor de kern WaterMachine. Doordat de effecten vergelijkbaar zijn met de effecten voor Basisalternatief worden ze niet gepresenteerd.

Indien gekozen zou zijn bij de tweede versterking in 2050 voor de zandnok uit WaddenWerken, dan zou dit tot een reductie van de totale kosten van Basisalternatief leiden van 10 mln euro (contante waarde). Indien gekozen zou zijn voor het stormschild uit Monument in Balans dan zou Basisalternatief 20 mln euro goedkoper zijn. Het kostenvoordeel van Basisalternatief in contante waarde ten opzichte van 2100-Robuust zou dan niet 250 mln bedragen, maar 270 mln euro: een beperkt effect. Uitstel laat ook de mogelijkheid open voor toepassing van nu nog niet bekende andere technieken of oplossingen.

8.5 Fasering aanleg schutsluizen

Deze gevoeligheidsanalyse heeft betrekking op een fasering van de nieuwbouw van de schutsluizen voor 2100-Robuust en daarmee ook voor alle overige projectalternatieven, met uitzondering van Basisalternatief. In deze variant wordt in zowel Den Oever als Kornwerderzand in 2020 een nieuwe keersluis ten noorden van de huidige schutsluizen geplaatst (Rijkswaterstaat, 2010). Dit biedt de mogelijkheid pas in een later stadium de huidige schutsluizen te vervangen door nieuwe, zonder een stormkerende functie.

Deze fasering biedt het voordeel (Projectteam Toekomst Afsluitdijk, 2010) dat tijdens een extreme storm de aparte keersluizen zowel de voorhavens als de gebieden rond de huidige sluizen beschermen. Ook de voorhavendijken en de schutsluizen zelf hoeven dan niet verhoogd te worden. Hierdoor blijven nabij Kornwerderzand de schutsluis, de kazematten in de voorhaven en het beschermde dorpsgezicht (alle met monumentale status) beter behouden. Dit geldt ook voor de kazematten in de voorhaven van de schutsluizen bij Den Oever.

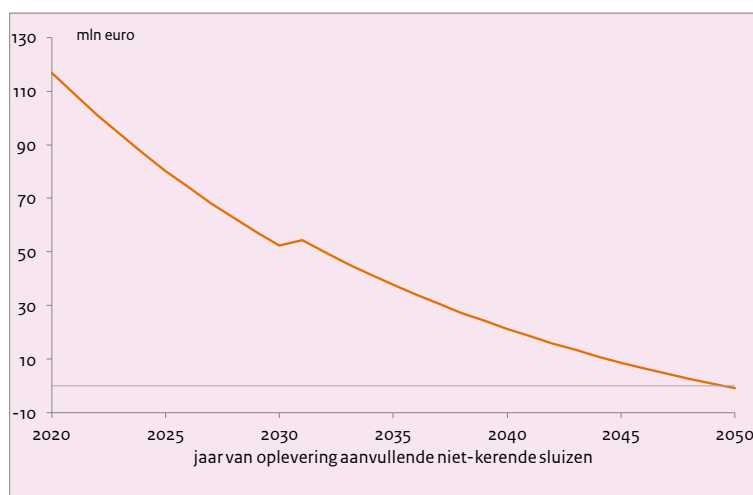
Het direct in 2020 aanleggen van de combinatie van keersluizen met nieuwe schutsluizen zonder kerende functie is in totaal (Den Oever en Kornwerderzand) 120 mln euro (nominaal, marktprijs) duurder dan (alleen) nieuwe schutsluizen met kerende functie. Het in een later stadium aanleggen van nieuwe schutsluizen leidt tot lagere contante kosten. Wel

moeten daardoor extra kosten worden gemaakt voor additioneel levensduurverlengend onderhoud aan de schutsluizen tussen 2020 en 2030 (10 mln euro, nominaal).

Of de oude schutsluizen ook na 2030 mee kunnen indien er een aparte keersluis wordt gemaakt, is niet zeker en vereist specifiek technisch onderzoek. Uit De Wilde et al. (2010) valt op te maken dat dit niet uitgesloten is. Impliciet kan uit dit rapport worden opgemaakt dat de additionele onderhoudskosten mogelijk zo'n 15 mln euro bedragen. Over de mogelijkheid om de oude schutsluizen na 2050 nog te laten functioneren is in het geheel geen informatie. Deze optie wordt daarom in deze gevoeligheidsanalyse niet in beschouwing genomen.

In Figuur 8.3 zijn de meerkosten (in contante waarde, CW) weergegeven van deze gefaseerde aanleg – als functie van het opleverjaar van de aanvullende niet-kerende sluizen – ten opzichte van nieuwe schutsluizen met kerende functie in 2020 zoals voorzien in de kern van 2100-Robuust. De 'knik' rond 2030 wordt verklaard door de bovengenoemde additionele onderhoudskosten van 15 mln euro.

Figuur 8.3 Meerkosten (contante waarde) van een gefaseerde aanleg van schutsluizen*



* Eerst keersluis, mogelijk later nieuwe sluis zonder kerende functie) ten opzichte van nieuwe schutsluizen met kerende functie in 2020 (2100-Robuust), als functie van het opleverjaar, bij een discontovoet van 5,5%.

Uit Figuur 8.3 volgt dat een gelijktijdige oplevering van de aparte kerende sluizen en vervanging van de huidige sluizen door sluizen zonder kerende functie resulteert in een toename van de kosten met 120 mln euro (CW). Indien de vervanging van de huidige schutsluizen tot 2030 worden uitgesteld, blijft er sprake van aanzienlijke meerkosten: 60 mln euro (CW). Het is niet duidelijk of de schutsluizen ook na 2030 vervangen kunnen worden. Maar zelfs als dit zou kunnen worden uitgesteld tot 2050, dan nog resulteren hogere contante kosten.

De méerkosten van afzonderlijke keersluizen (en het later vervangen van de oude schutsluizen) dienen te worden afgewogen tegen de bovengenoemde (niet-monetaire) 'baat' van het behoud van de monumenten.

8.6 Nieuwbouw kunstwerken voor Basisalternatief

In de oorspronkelijke kern Basisalternatief worden alle kunstwerken eerst gerenoveerd voordat ze in 2050 nieuw worden gebouwd. Hoewel renovatie technisch haalbaar lijkt, is het toch niet geheel uit te sluiten dat dit toch niet kan (zie paragraaf 6.1). In Rijkswaterstaat (2010) is hiertoe een variant opgenomen die uitgaat van nieuwe kunstwerken voor Basisalternatief. Op verzoek van het projectteam Toekomst Afsluitdijk wordt deze variant in deze gevoeligheidsanalyse beschouwd.

In de door Rijkswaterstaat (2010) genoemde variant op Basisalternatief worden alle kunstwerken (spui- en schutsluizen in Kornwerderzand en Den Oever) meteen worden vervangen door nieuwe, zonder tussentijdse renovatie. In deze variant volgt alleen nog in 2050 de verhoging van het dijklichaam volgens 2100-Robuust. Ook worden er additionele pompen in 2035 en 2060 geïnstalleerd. Een gedetailleerde analyse van de baten valt buiten het bestek van dit rapport, omdat het gaat om een nieuw projectalternatief. Wel kunnen de aanleg-, onderhoud- en energiekosten worden gegeven.

Tabel 8.9 Aanleg- en onderhoudskosten voor dijklichaam, sluizen en gemalen en energiegebruik*

	Ba – conform hfst 4	Ba - nieuwbouw kunstwerken
Dijklichaam	350	350
Schutsluizen	120	200
Spuisluizen	610	690
Pompgemalen	300	300
Pomp-energiekosten	10	10
Totaal	1.390	1.540

*Contante waarde bij discontovoet van 5,5%, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

Vergelijking van de laatste twee kolommen van Tabel 8.9 geeft de conclusie dat het direct nieuwbouwen van de kunstwerken (spui en schutsluizen) in Basisalternatief resulteert in méérkosten van 150 mln euro (contante waarde). In nominale termen is er juist sprake van een besparing van 310 mln euro. De besparingen op de renovatiekosten in de oorspronkelijke kern Basisalternatief wegen dus niet op tegen de hogere contante waarde van het eerder nieuwbouwen van de kunstwerken.

8.7 Discontovoet: effect op aanleg- en onderhoudskosten

De netto contante waarde is afhankelijk van de gekozen discontovoet. In dit rapport is voor de discontering veelal 5,5% gehanteerd. De discontovoet is opgebouwd uit een risicovrij deel van 2,5% en een risico-opslag van 3%. De gevoeligheidsanalyse voor de discontovoet wordt standaard uitgevoerd voor het bereik tussen 4% en 7% ($5,5 \pm 1,5\%$).

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.10 t/m Tabel 8.13 en Figuur 8.4. In deze resultaten zijn alleen de effecten op aanleg- en onderhouds- en energiekosten meegenomen.

Tabel 8.10 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik en -opwekking, bij discontovoet van 4,0%*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam - subtotaal	480	420	390	510	470	420
Schutsluizen - subtotaal	220	160	220	220	220	220
Spuisluizen - subtotaal	750	700	750	750	570	250
Energie-elementen - subtotaal	0	0	0	0	2.330	780
Natuur (incl mitigatie) – subtotaal (excl. '?')	0	0	0	0	600	740
Werkhypothese: pompgemalen	440	440	440	440	310	130
Totaal kosten/opbrengsten energie	20	20	20	20	-1.610	20
Totaal	1.900	1.740	1.810	1.930	2.890	-2.570
Vershil t.o.v. 21R	ref	160	90	-30	-990	-660

*Contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

? = niet bekend. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro. Negatieve bedragen bij energie duiden op meer inkomsten dan uitgaven aan energie.

Tabel 8.11 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik en -opwekking, bij discontovoet van 5,5%*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam – subtotaal	440	350	360	440	430	360
Schutsluizen – subtotaal	200	120	200	200	200	200
Spuisluizen – subtotaal	690	610	690	690	530	230
Energie-elementen - subtotaal	0	0	0	0	1.730	710
Natuur (incl mitigatie) – subtotaal (excl. '?')	0	0	0	0	560	690
Werkhypothese: pompgemalen	300	300	300	300	210	70
Totaal kosten/opbrengsten energie	10	10	10	10	-980	10
Totaal	1.640	1.390	1.560	1.630	2.670	2.260
Vershil t.o.v. 21R	ref	250	80	10	-1.030	-610

*Contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

? = niet bekend. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro. Negatieve bedragen bij energie duiden op meer inkomsten dan uitgaven aan energie.

Tabel 8.12 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik en -opwekking, bij discontovoet van 7,0%*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam - sub totaal	420	290	340	390	400	310
Schutsluizen - sub totaal	190	100	190	190	190	190
Spuisluizen - sub totaal	650	550	650	650	500	220
Energie-elementen - sub totaal	0	0	0	0	1.380	650
Natuur(incl mitigatie) – sub totaal (excl. ‘?’)	0	0	0	0	520	640
Werkhypothese: pompgemalen	210	210	210	210	140	40
Totaal kosten/opbrengsten energie	10	10	10	10	-630	10
Totaal	1.470	1.160	1.390	1.440	2.500	2.060
Verschil t.o.v. 21R	ref	300	80	30	-1.030	-600

*Contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

? = niet bekend. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro. Negatieve bedragen bij energie duiden op meer inkomsten dan uitgaven aan energie.

Tabel 8.13 Verschil in kosten voor aanleg en onderhoud en energiegebruik en -opwekking t.o.v. 2100-Robuust*

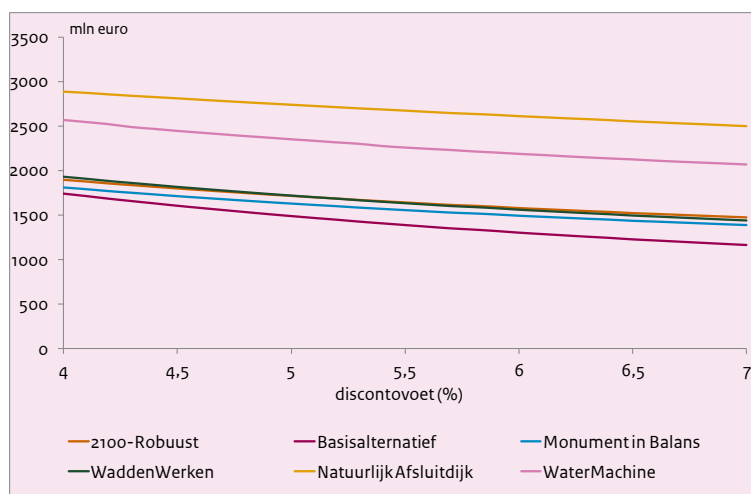
	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Discontovoet	verschil ten opzichte van 21R					
4%	ref	160	90	-30	-990	-660
5.5%	ref	250	80	10	-1.030	-610
7%	ref	300	80	30	-1.030	-600

*Contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro.

De belangrijkste conclusie uit Tabel 8.13 is dat de onderzochte discontovoeten een beperkte invloed hebben op de onderlinge kostenverschillen tussen de kernen. Alleen het kostenvoordeel van Basisalternatief ten opzichte van 2100-Robuust is relatief gezien gevoelig voor de gehanteerde discontovoet. Naarmate een projectalternatief meer basiselementen bevat die na 2020 worden opgeleverd, is de invloed van de discontovoet groter. Daarom is het logisch dat Basisalternatief het meest gevoelig is voor een andere discontovoet. Deze kern omvat namelijk de aanvullende maatregelen in 2050 voor het dijklichaam en alle kunstwerken bij relatief lage kosten voor de kern in 2020.

Het blijkt dat een variatie van de discontovoet vrijwel geen effect heeft op de onderlinge verhoudingen van de netto contante waarde van de kosten. De indeling naar KEA-saldo blijkt robuust voor veranderingen van de discontovoet. Enkel 2100-Robuust en WaddenWerken verwisselen van plaats, maar het onderlinge verschil kan worden verwaarloosd.

Figuur 8.4 Kosten van aanleg en onderhoud en energieverbruik en -opwekking *



* Contante waarde bij discontovoet variërend van 4,0% tot 7% (prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro).

8.8 Effect discontovoet op veiligheidsbaten

In hoofdstuk 6 zijn de baten van overveiligheid bepaald uitgaande van een discontovoet van 4.7%. In deze gevoeligheidsanalyse kijken we naar de baten van overveiligheid indien een discontovoet van 2.5% en 5.5% wordt gehanteerd. Ter referentie zijn alle aanleg-, onderhouds- en energiekosten weergegeven van de kernen. Voor deze kosten wordt een discontovoet gehanteerd van 5.5%, zie Tabel 8.14.

De belangrijkste conclusie uit de onderstaande tabel is dat het kostenvoordeel van Basisalternatief ten opzichte van 2100-Robuust behouden blijft bij een discontovoet voor de baten van (over)veiligheid tussen de 2,5 en 5,5%: de baten van (over)veiligheid zijn dan enkele tientallen miljoenen euro's lager dan bij 2100-Robuust.

Pas bij een discontovoet van 0% (dus het nominaal optellen van de baten van overveiligheid tussen 2020 en 2100),⁶⁴ zijn de verwachte additionele kosten vanwege de mindere veiligheid van Basisalternatief hoger (namelijk 290 mln euro nominaal), dan het (contante) kostenvoordeel van aanleg, energie en onderhoud (250 mln euro bij een discontovoet van 5,5%).

⁶⁴ Vanaf 2050 wordt bij Basisalternatief de veiligheid identiek aan die van 2100-Robuust. Vanaf dat jaar zijn de baten aan (over)veiligheid van beide kernen dus identiek. Voor Basisalternatief zijn de nominaal gesommeerde baten van (over)veiligheid ten opzichte van 2100-Robuust tussen de jaren 2050-2100 gelijk aan nul.

Tabel 8.14 Effect van een andere discontovoet voor de baten van (over)veiligheid*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam – subtotaal	440	350	360	440	430	360
Schutsluizen – subtotaal	200	120	200	200	200	200
Spuisluisen – subtotaal	690	610	690	690	530	230
Energie-elementen – subtotaal	0	0	0	0	1.730	710
Natuur – subtotaal	0	0	0	0	560	690
Werkhypothese: pompgemalen	300	300	300	300	210	70
Kosten/opbrengsten energie	10	10	10	10	-980	10
Totaal kosten aanleg, energie en onderhoud(a)	1.640	1.390	1.560	1.630	2.670	2.260
Verschil t.o.v. 21R	ref	250	80	10	-1.030	-610
Baten (over)veiligheid 0% - nominaal 2020-2100	ref	-290	0	0	0	-360
Baten (over)veiligheid 2,5%	ref	-70	0	0	0	-85
Baten (over)veiligheid 4,7% - conform hfst 5	ref	-30	0	0	0	-30
Baten (over)veiligheid 5,5%	ref	-20	0	0	0	-20

*Contante waarde, prijspeil 2009, marktprijzen, basisjaar 2015, in mln euro, periode 2020-2100.
(a) Deze kosten zijn verdisconteerd met 5,5%.

8.9 Conclusies

Wat zijn de belangrijkste lessen uit de gevoeligheidsanalyses?

Forse besparingen mogelijk op spui- en pompkosten t.o.v. oorspronkelijke kernen

De pomp- en spuikosten van de oorspronkelijke kern kunnen aanmerkelijk worden verlaagd door eerder te kiezen voor nieuwbouw van pompen. De uitgangspunten van het W+-scenario en een gelijkblijvend IJsselmeerpeil blijven hierbij gehandhaafd. In contante waarde is een besparing van 20% (190 mln euro) op deze kostenpost mogelijk ten opzichte van de goedkoopste variant (Basisalternatief). In nominale kosten is zelfs een maximale besparing mogelijk van 50% (940 mln euro) ten opzichte van het oorspronkelijke Basisalternatief. Dit terwijl Basisalternatief de goedkoopste variant was van de 'oorspronkelijke kernen'. In de genoemde 'goedkopere' varianten wordt ESA niet gebouwd.

Spuien: bij lage zeespiegelstijging 150 mln goedkoper, bij hogere stijging 120 mln duurder dan pompen

De meeste onderzochte kernen zijn gedefinieerd vanuit de keuze om zo lang mogelijk te blijven spuien. Bij een lage zeespiegelstijging blijkt een geoptimaliseerde variant uitgaande van deze keuze (o.a. het bouwen van ESA zoals voorzien) 150 mln goedkoper dan direct overstappen op pompen.

Daarbij is nog geen rekening gehouden met de waarschijnlijke veiligheidsbaten van pompen ten opzichte van het windafhankelijke spuien. Bij hogere zeespiegelstijgingen waaronder het standaard gehanteerde W+-scenario ontstaat al snel de noodzaak om alsnog pompen te bouwen. Het direct (gedeeltelijk) pompen van IJsselmeerwater (en het niet bouwen van ESA) is dan (contant) 120 mln goedkoper. In nominale termen is de keuze voor het direct (gedeeltelijk) pompen in alle scenario's goedkoper: zo'n 450 mln euro.

Vanwege de waarschijnlijke veiligheidsbaten van pompen in vergelijking met spuien, is het zelfs niet uitgesloten dat óók bij een keuze voor een peilverhoging van het IJsselmeer pompen goedkoper is dan spuien. De KBA Norm Afsluitdijk biedt de mogelijkheid om de veiligheidsbaten van pompen te kwantificeren.

Keuzen te over: vele subvarianten en optimalisaties mogelijk

Er zijn vele varianten mogelijk op de onderzochte kernen. Een paar interessante opties die in dit en voorgaande hoofdstukken zijn genoemd:

- De nieuwbouw van de spui Kornwerderzand kan worden uitgesteld: in vrijwel alle varianten en scenario's blijkt het dichtzetten van de huidige spui in 2020 en pas weer nieuw bouwen als deze nodig is, goedkoper dan het renoveren van deze spui;
- Andere schutsluizen zijn mogelijk (waaronder naviducten);
- Bij Basisalternatief kunnen alle kunstwerken ook direct *nieuw* gebouwd worden;
- De 'geasfalteerde' overslagbestendige dijk kan voor 10 mln worden bekleed met gras opdat de dijk weer een groene uitstraling krijgt;
- De natuurwaarde van de Waddenzee en het IJsselmeer kan vrij goedkoop aanmerkelijk worden verbeterd door één of meerdere extra vispassages (kosten zo'n 10 mln per stuk).

De politieke keuze dient dus niet beperkt te blijven tot de zes onderzochte kernen. Subvarianten zouden in de besluitvorming meegenomen moeten worden opdat een optimale keuze gemaakt kan worden.

Referenties

AgentschapNL, 2010a, Criteria voor duurzaam inkopen van Kunstwerken.

AgentschapNL, 2010b, Criteria voor duurzaam inkopen van Waterbouwkundige Constructies.

Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingier, R. Haverman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff, 2001, Handboek Natuurdoeltypen – 2de geheel herziene editie, Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2001/020, Wageningen.

Beckers, J., N. Kramer, Q. Gao en V. Harezlak, 2010, KEA/KBA normering Afsluitdijk, rapport 1203014-000, concept versie 1.0, augustus 2010, Deltares, Delft.

Brekelmans, R, D. den Hartog en K. Roos, 2009, Computing Safe Dike Heights: A prototype optimization algorithm, 16 juni 2009, CentER Applied Research, Universiteit Tilburg.

CPB, MNP en RPB, 2006, *Welvaart en leefomgeving; een scenariostudie voor Nederland in 2040*, Den Haag, www.welvaartenleefomgeving.nl.

Daniëls, B.W. en C.W.M. van der Maas, 2009, Actualisatie referentieramingen – Energie en emissies 2008-2020, ECN en PBL.

De Hollander, A.E.M., 2011, Natuurwaardeindicator Afsluitdijk, brief PBL aan Rijkswaterstaat, referentie 11 002 WLV/GdH/RW/az, 11 januari 2011.

De Wilde, D., F. de Graaf, M. Rijkers en P. Jansen, 2010, Brief over expert judgement versterking huidige kunstwerken aan wettelijk niveau tot 2050, 28 oktober 2010, concept versie 2, Rijkswaterstaat, Utrecht

Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010, Toetsing resultaten project Toekomst Afsluitdijk vanuit Deltaprogramma, zie www.rijksoverheid.nl/deltaprogramma, december 2010, Lelystad.

DHV en Arcadis, 2011, MER Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk, plan-MER/project-MER, concept, 18 maart 2011.

Eijgenraam, C.J.J., 2005, Veiligheid tegen overstromen; Kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1, CPB Document 82, april 2005.

Eijgenraam, C.J.J., 2006, Optimal safety standards for dike-ring areas, CPB Discussion Paper 62, maart 2006.

Faber, Harmen, 2010, Antwoorden op vragen van het CPB, Ontvangen per email op 9 augustus 2010 om 18h01.

Grontmij, 2010a, PlanMER Toekomst Afsluitdijk, Hoofdrapport, 8 december 2010, Definitief.

Grontmij, 2010b, PlanMER Toekomst Afsluitdijk, Bijlagerapport, 8 december 2010, Definitief D1.

Grontmij, 2010c, Natuurwaardenindicator Toekomstvisie Afsluitdijk. MKBA van huidige en te verwachten natuur in de Waddenzee en IJsselmeer als gevolg van het project Afsluitdijk, Definitief, 9 december 2010, Grontmij Nederland B.V., Houten.

Grontmij, 2010d, Risicobeoordeling Natura2000 Toekomst Afsluitdijk, Definitief D1, 10 december 2010.

Hoefsloot, N, en M. de Pater, 2010, KBA's van ambitiecomponenten Afsluitdijk, aanvulling op de MKEA van de kernen, Eindrapport, 15 december 2010, Decisio B.V., Amsterdam.

Jansen, P.L.M., 2001, Spuien of malen in de Afsluitdijk tot 2050. Documentcode 4279-P-2000.00056, 5 januari 2001, definitief, Rijkswaterstaat Bouwdienst en IJsselmeergebied.

Janssen, S.T.M.C., 2005, De Verkeersveiligheidsverkenner gebruikt in de regio, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), rapportnummer R-2005-6.

KNMI, 2006, Klimaat in de 21e eeuw; vier scenario's voor Nederland, De Bilt, mei 2006. Zie www.knmi.nl/klimaatsscenarios.

Kind, J., 2010, Kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw. Een economische analyse ten behoeve van nieuwe normen voor de bescherming tegen hoogwater. Concept 90% versie, oktober 2010.

Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009, Klimaatverandering in Nederland; Aanvulling op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt.

Lako, P., S.L. Luxembourg en L.W.M. Beurskens, 2010, Karakteristieken van duurzame energie in relatie tot de Afsluitdijk; Kostendata en andere parameters voor de evaluatie van duurzame energieopties in verband met integrale verbetering van de Afsluitdijk, Rapport nr. ECN-E--10-044, ECN Beleidsstudies, mei 2010.

Luttik, N.J.H. en E.P.M. Waltje, 2010, Programmeringsinspecties, instandhoudingsanalyses en levensduuronderzoeken complexen Afsluitdijk, rapport nr. BDX-9184, eindrapportage, revisie 2 geactualiseerd, 4 juni 2010, Nebest adviesgroep en Oranjewoud.

MNP (Milieu- en Natuurplanbureau), 2004, Risico's in bedijkte termen, RIVM.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002, De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland, Achtergrondrapport - Resultaten van de eerste toetsronde van 1996-2001.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 - 2006 (VTV).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006, Primaire waterkeringen getoetst – Landelijke Rapportage Toetsing.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen - voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010, MIRT projectenboek 2010; www.mirtprojectenboek.nl.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Hoofddirectie Financieel Economische Zaken), Ministerie van Financiën, Centraal Planbureau, RebelGroup, 2004, Risicowaardering – Aanvulling op de Leidraad OEL.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Rijkswaterstaat, 2007, Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen (NOA).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Volkhuysvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer en provincies, waterschappen en gemeenten in het IJsselmeergebied, 2010, Voorverkenning lange termijn peilbeheer IJsselmeer; Verslag, Deltaprogramma IJsselmeergebied, april 2010.

Ossokina, I.V. en C.J.J. Eijgenraam, 2009, *Probleemanalyse en daaruit volgende project- en nulalternatieven in KBA's*, CPB Document 234, november 2009 (verbeterd 17 november 2010).

Projectgroep Waterveiligheid, 2010, Toekomstig Peilbeheer IJsselmeer - Thema Waterveiligheid: strategieën en effect van maatregelen, memo aan voorverkenning Deltaprogramma IJsselmeer, 8 februari 2010, voorzitter projectgroep: Antoon Kuijpers, Wetterskip Fryslân.

Projectteam Toekomst Afsluitdijk, 2010, Openstaande vragen en acties Projectteam t.b.v. MKEA Afsluitdijk.

Regeling, E., 2010a, Diverse vragen van CPB tbv MKBA Toekomst Afsluitdijk 25 augustus 2010.

Regeling, E., 2010b, Memo bijdrage zoutbelasting IJsselmeer, projectteam Toekomst Afsluitdijk, 18 oktober 2010.

Rijkswaterstaat, 2005a, MER Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk; Deel Locatiekeuze en voorlopige inrichting, Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, Lelystad, mei 2005.

Rijkswaterstaat, 2005b, Verkenning Kunstwerken Afsluitdijk.

Rijkswaterstaat, 2007, Hoe sterk is keileem? – Sterkte & Belastingen Waterkeringen.

Rijkswaterstaat, 2008a, Informatiedocument Marktverkenning Afsluitdijk.

Rijkswaterstaat, 2008b, Technisch Informatiedocument, Bijlage bij Informatiedocument Marktverkenning Afsluitdijk.

Rijkswaterstaat, 2009, Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2010-2015 - Werken aan een robuust watersysteem.

Rijkswaterstaat, 2010, Toekomst Afsluitdijk Kostennota, versie 3.9 van 18-11-2010.

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2009, Meer IJsselmeer; Het Deltaprogramma en het IJsselmeergebied, interne uitgave voor medewerkers Rijkswaterstaat, oktober 2009.

Rijkswaterstaat Waterdienst en Deltares, 2008, Kenniskaarten IJsselmeergebied, uitgave in het kader van Rijksbeleidskader IJsselmeergebied, mei 2008.

Rijkswaterstaat, provincie Fryslân en provincie Noord-Holland, 2009, Dijk en Meer- Eindrapportage verkenning Toekomst Afsluitdijk, ook bekend als 'Onderzoek Integrale Verbetering Afsluitdijk', zie www.rijkswaterstaat.nl/marktverkenningafsluitdijk, maart 2009.

Rol, A.H., 2010, Gemaal IJsselmeer, Kostenindicatie, kenmerk K22-ARO-KA-1000013 B- Versie 1.0, Movares Nederland B.V., 7 december 2010.

Sijtsma, F.J., A. van Hinsberg, S. Kruitwagen en F.J. Dietz, 2009, *Natuureffecten in de MKBA's van projecten voor integrale gebiedsontwikkeling*, PBL-publicatienummer 500141004, Planbureau voor de Leefomgeving, juni 2009.

Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 2009, Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet), nr. 107.

Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2009, Waardering van risico's bij publieke investeringsprojecten, Brief van de Minister van Financiën, 11 september 2009.

Uijtewaai, L, A. Vrijburcht en W. van Beijnen, 2009, ESA – advies klankbordgroep over actualisatie uitgangspunten veiligheid en spuicapaciteit aan de hand van advies Waterdienst, memo 31 augustus 2009, Rijkswaterstaat, Utrecht.

Van Prooijen, B.C., C. den Heijer, Z.B. Wang, J.K. Vrijling, 2010, Review 'Waddenwerken' – morfologie, TU Delft.

Van Puijenbroek, P.J.T.M en F.J. Sijtsma, 2009, *Berekening natuureffecten Markermeer Maatschappelijke kosten en baten van verstedelijkingsvarianten en openbaarvervoerprojecten voor Almere*, PBL-publicatienummer 500174001, Planbureau voor de Leefomgeving.

Van Vossen, B, C.M. Swinkels, B.G.H.M. Wichman, L.M. Dionisio Pires en G.A.M. van Meurs, 2010, *Toekomst Afsluitdijk – antwoorden op vijf onderzoeksvragen*, project 1201757, Deltares, maart 2010.

Vrijling, J.K. en W. Kanning, 2009, Technische haalbaarheid. Review rapportages fase 2 in het kader van de marktverkenning, definitief 28 januari 2009, TU Delft.

Waterrecreatie Advies, 2009, *Ontwikkeling watersport IJsselmeergebied*.

Werkgroep Lange Termijn Discontovoet, 2009, *Advies werkgroep Lange Termijn Discontovoet*.

Wortelboer, R., 2010, *Natuurkwaliteit en biodiversiteit van de zoute wateren*. Achtergronddocument bij de Natuurbalans 2008, PBL Rapport 50040216/2010.

Zwaneveld, P., G. Romijn, G. Renes en K. Geurs, 2009, *Maatschappelijke kosten en baten van verstedelijkingsvarianten en openbaarvervoerprojecten voor Almere*, CPB document 193, Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.

Bijlage A Natuur: risicobeoordeling Natuurbeschermingswet en natuurwaarde-indicator

A.1 Natuurbeschermingswet 1998: significant negatieve natuureffecten

Tabel 6.6 geeft voor alle kernen een overzicht van significant negatieve natuureffecten die kunnen optreden in de Natura 2000-gebieden Waddenzee en IJsselmeer. In deze tabel is ook het eindoordeel gegeven van het risico dat dergelijke effecten optreden. Belangrijk om te beseffen is dat dit oordeel is gebaseerd op het nemen van mitigerende en compenserende maatregelen, inclusief een oordeel over de kans van slagen van deze maatregelen.

Een overzicht van de mitigerende en compenserende maatregelen is opgenomen in Tabel A.1. Zoals uit de tabel blijkt bedragen de verwachte kosten van deze maatregelen enkele miljoenen euro's. Daarnaast zijn er (nog) kleinere mitigerende maatregelen. Deze staan weergegeven in Tabel A.2. De maatregelen in Tabel A.2 zijn onderdeel van de reguliere kostenramingen en leiden daarom niet tot additionele kosten.

Tabel A.1 Overzicht van benodigde en mogelijke mitigerende/compenserende maatregelen: oorzaken en kosten

	Probleem	Mitigatie/compensatie	Concrete maatregel	Kosten
Kern				
21R	-	-	-	0
Ba	-	-	-	0
MiB	-	-	-	0
WW	>1% aantasting foerageergebied toppereend	Elders nieuw foerageergebied; slaagkans onzeker	?	?
NA	Betreft Rivierdonderpad (vissoort)	Stortsteen aan buitenzijde zanddijk/Valmeer	Twee nieuwe leefgebieden op zanddijk door aanbrengen overtollige stortstenen	0,5 à 1
	Dood ± 5% huidige IJsselmeerpopulatie			
	LT: na >5 jaar geen effect			
	>1% aantasting foerageergebied kuifeend	Elders nieuw gebied met driehoeksmossel creëren; slaagkans onzeker.	Nieuw leefgebied door extra stortstenen talud zanddijk IJsselmeerkant	5
WMm	Betreft Rivierdonderpad (vissoort)	Stortsteen aan buitenzijde zanddam	Twee nieuwe leefgebieden op zanddijk door aanbrengen overtollige stortstenen	0,5 à 1
	Dood ± 5% huidige IJsselmeerpopulatie			
	LT: na >5 jaar geen effect			
	>1% aantasting foerageergebied kuifeend	Elders nieuw gebied met driehoeksmossel creëren; slaagkans onzeker.	Adequaat ontwerp leefomgeving bij zoetwaterinlaat tussenmeer	0,1
Kosten: nominaal in mln euro, prijspeil 2009; ? = niet bekend. LT = lange termijn. Bron: Grontmij (2010d) en expert judgement leden projectteam Toekomst Afsluitdijk.				

Tabel A.2 Risico's vergunning Natuurbeschermingswet 1998: additionele opmerkingen

Kern	Opmerking
21R	Indien rekening houden met (broed)seizoen bontbekplevier; toppereend; kuifeend: geen effect
Ba	Indien rekening houden met (broed)seizoen bontbekplevier; toppereend; kuifeend: geen effect
MiB	Indien rekening houden met broedseizoen bontbek- en strandplevier: geen effect
WW	Indien rekening houden met broedseizoen bontbek- en strandplevier: geen effect
	verlies aan foerageergebied voor zeehonden - kans op significante effecten gering
NA	Indien rekening houden met (broed)seizoen bontbekplevier; toppereend; kuifeend: geen effect
	Hoewel aantasting >1% foerageergebied fuut en brilduiker, naar verwachting voldoende uitwijkmogelijkheden
WMm	Indien rekening houden met (broed)seizoen bontbekplevier; toppereend; kuifeend: geen effect
	Hoewel aantasting >1% foerageergebied fuut en brilduiker, naar verwachting voldoende uitwijkmogelijkheden
Bron: Grontmij (2010d).	

A.2 Algemene beschrijving natuarpuntenmethodiek

De natuarpuntenmethodiek of Natuurwaarde Indicator (NWI) wordt per habitattype uitgevoerd. Hiertoe worden de volgende stappen doorlopen (Sijtsma et al., 2009):

- Berekening aantal natuarpunten = factor 1 × factor 2 × factor 3.
- Factor 1: Bepaling oppervlakte per habitattype. Hiertoe moet eerst een keuze worden gemaakt welke gebied bekeken wordt. Gegeven deze keuze kunnen de oppervlaktes worden bepaald.
- Factor 2: Bepaling weegfactor per habitattype. Deze weegfactor geeft de mate van belang, schaarste of bedreiging van het habitattype op nationaal niveau weer. Dit betreft een expertinschatting.
- Factor 3: Bepaling van kwaliteit (tussen 0 en 1) van het gerealiseerde habitattype. Per soortengroep is de mate bepaald waarin de potentiële soortenrijkdom ook – naar verwachting – aanwezig zal zijn. Vervolgens is een rekenkundig gemiddelde over alle potentiële soorten genomen om tot een totale kwaliteitsindex te komen.

A.3 Berekeningen natuarpunten KEA Afsluitdijk

Opbouw

In de berekening van het aantal natuarpunten voor de KEA Afsluitdijk wordt er voor factor 1 aan zowel de Waddenzijde als de IJsselmeerszijde gekeken naar een strook van 3 km water langs de dijk, over de lengte van de gehele Afsluitdijk, 32 km. Het totale oppervlakte per gebied is daarmee 9600 ha. Aan de kant van het IJsselmeer is tevens 10 meter van de dijk zelf, langs de hele Afsluitdijk, meegenomen. Hierdoor komt het totale oppervlakte voor de IJsselmeerkant op 9632 ha.

De weegfactoren, factor 2, zijn door Grontmij (2010c) speciaal ontwikkeld voor estuariene habitattypen, welke in de oorspronkelijke Natuurwaardenindicator van het PBL (Sijtsma et al., 2009) nog niet waren gedefinieerd. Het betreft een 'expert opinion' van diverse zoet- en zoutwaterecologen van de Grontmij en medewerkers van het PBL. Als ijkpunten zijn de al vastgestelde weegfactoren⁶⁵ voor kwelders (2,4) en agrarische graslanden (0,4) gebruikt (Sijtsma et al., 2009, p. 19).

Factor 3, de kwaliteit, betreft een 'expert opinion' voor de toekomstige ontwikkeling. Voor het IJsselmeergebied is gebruik gemaakt van de ecologische kwaliteit die is vastgesteld in het kader van de Kaderrichtlijn Water. Voor de

⁶⁵ Op basis van het gewicht kan in beginsel een afweging worden gemaakt tussen verschillende habitattypen. Aan een relatief groot gebied met een klein gewicht kan evenveel punten worden toegekend als aan een relatief klein gebied met een groot gewicht, aangenomen dat beide gebieden dezelfde kwaliteit hebben binnen hun habitattype.

Waddenzee is gebruik gemaakt van berekeningen van de natuurkwaliteit voor de westelijke Waddenzee door het PBL (Wortelboer, 2010).

Er bestaan voor een gebied, met een gegeven oppervlak, twee manieren voor het veranderen van de natuurwaarden:

1. Verandering van de kwaliteit binnen één of meerdere habitattypen,
2. Verandering van het habitatype.

Uitwerking

De berekening van de NWI-punten, zoals in Grontmij (2010c), is gereconstrueerd in Tabel A.3 (IJsselmeer) en Tabel A.4 (Waddenzee) opdat de lezer nauwkeurig kan nagaan hoe de berekeningen hebben plaatsgevonden. Dezelfde habitattypen hebben voor verschillende kernen veelal dezelfde kwaliteit. Een toe- of afname van het aantal punten hangt voor de onderzochte kernen daardoor af van de verandering van het habitatype en niet van een verandering van de kwaliteit (binnen het habitatype). Alleen WaterMachine vormt hierop een uitzondering bij het habitatype 'zoet ondiep open water'. Door de integratie van 'ESA' (zij het als gemaal) in het tussenmeer treedt in het zoete, ondiepe deel van het IJsselmeer (rond het tussenmeer) minder turbulentie op. Dit heeft een gunstig effect op hogere planten, macrofauna (waaronder schelpdieren) en daarmee op vogels.

Bij de beoordeling van de natuurwaarde van het tussenmeer wordt een onderscheid gemaakt tussen Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine. Vanwege de aanwezigheid van het Valmeer in het tussenmeer van Natuurlijk Afsluitdijk en een veronderstelde zoet-zoutgradiënt in het tussenmeer van WaterMachine, wordt aan de laatste zowel een hogere weegfactor als een – potentieel – hogere kwaliteit toegekend. Maar, zoals in paragraaf 6.6 is aangegeven, is het bestaan van een stabiele zoet-zoutgradiënt in het tussenmeer van WaterMachine waarschijnlijk niet mogelijk. De reden hiervoor is de noodzaak met het gemaal veelvuldig overtollig IJsselmeerwater via het tussenmeer naar de Waddenzee te pompen. In dit rapport is het aantal natuurluipunten voor WaterMachine daarom aangegeven met '?' (niet bekend). Bij het bepalen van de natuurwaarde is namelijk geen rekening gehouden met het feit dat er veelvuldig (mogelijk minimaal eens per week) gepompt moet worden via het tussenmeer. Als de pompturbines worden gebruikt als pomp, is er geen open verbinding tussen het tussenmeer en de Waddenzee. Het beoogde brakke tussenmeer gaat dan dus verzoeten, waardoor de beoogde natuurwaarde niet kan zal worden bereikt. Mogelijk is de natuurwinst van een dergelijk tussenmeer bij veelvuldig pompen beperkt. De natuurluipunten voor de Waddenzee voor WaterMachine zijn wel accuraat. Daar treedt bij deze kern geen verbetering op voor de natuur.

Uit enkele berekeningen (Grontmij, 2010c) kan worden afgeleid dat de natuurwaarde bij WaterMachine aan de IJsselmeerszijde substantieel kan stijgen indien er continu een open verbinding mogelijk blijft tussen het tussenmeer en de Waddenzee (ofwel nooit de noodzaak tot pompen), maar ook dan blijft het totaal aantal natuurluipunten nog steeds – eveneens substantieel – achter bij het aantal voor de Waddenzeezijde in haar huidige toestand (inclusief de vispassage bij ESA).

De NWI-punten zoals weergegeven in dit rapport, zijn gebaseerd op Grontmij (2010c). De absolute waarden wijken echter hiervan af. Dit vanwege correcties die naderhand door het CPB in overleg met de Grontmij zijn doorgevoerd. Het betreffen de volgende zaken:

- De berekeningen in Grontmij (2010c) gaan uit van twee vispassages bij kern WaterMachine (via ESA en via het tussenmeer). Dit is niet conform de in dit rapport gehanteerde definitie van de kernen en de beoogde vispassages zijn overigens ook technische niet *gelijktijdig* realiseerbaar. In de natuurluipunten voor WaterMachine wordt uitgegaan van één vispassage (via het tussenmeer).
- Grontmij (2010c, p.21) meldt dat er peilfluctuaties optreden in het tussenmeer bij Natuurlijk Afsluitdijk als gevolg van het leegpompen van het Valmeer, wat een negatief effect zou hebben op alle aanwezige soortgroepen. Vanwege de open verbinding tussen het tussenmeer en de Waddenzee is het echter niet plausibel te verwachten dat het leegpompen van het Valmeer een merkbaar effect heeft op het peil van het tussenmeer. De oorspronkelijke negatieve effecten van de peilfluctuaties zijn dan ook uit de NWI-berekeningen verwijderd. Grontmij (2010c) had bij de NWI-berekeningen al rekening gehouden met de natuureffecten van getijwerking in het tussenmeer.

- Enkele inconsistenties bij de beoordeling van de kwaliteit (factor 3) van individuele habitats zijn gecorrigeerd.
- Oppervlakteberekeningen van de ingrepen aan het dijklichaam zijn eveneens gecorrigeerd.

De onderstaande tabellen (Tabel A.3 en A.4) geven het uiteindelijke resultaat weer van de NWI-berekeningen.

Tabel A.3.1 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in IJsselmeer (deel 1)

		Factor 1 (Oppervlak)							Factor 2 (Weeg- factor)
		Huidig	21R	Ba	MiB	WW	NA	WM	
Landzone	Dijk	32	32		32	32	32	7	0.4
	Verbreiding/ verharding		96	47			96	40	0.0
	Overig Makkumer Noordwaard	150	150	150	150	150	150	150	1.8
Oever/ Moeraszone	Zoet	300	300	300	300	300	300	300	1.6
	Brak (NA)						400		2.4
	Brak (WM)							500	3.4
Ondiep open water	Zoet	915	905	913.5	915	915	590		1.3
	Zoet (WM)							660	1.3
	Brak (NA)						2000		2.0
	Brak (WM)							2025	3.0
Diep open water	Zoet	8235	8149	8221.5	8235	8235	5264	5950	0.7
	Zoet (valmeer)						800		0.7
	Totaal	9632	9632	9632	9632	9632	9632	9632	
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).									

Tabel A.3.2 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in IJsselmeer (deel 2)

		Factor 3 (Kwaliteit)							Gemiddeld
		Macro-fauna	Vissen	Amfibieën/reptielen	Vogels	Zoog-dieren	Algen/wieren	Hogere planten	
Landzone	Dijk	0.10			0.10	0.10		0.20	0.13
	Verbreiding/verharding	0.00			0.00	0.00		0.00	0.00
	Overig Makkumer Noordwaard	0.30			0.80	0.30		0.80	0.55
Oever/Moeraszone	Zoet	0.30		0.30	0.80	0.50		0.80	0.54
	Brak (NA)	0.30			0.80	0.80			0.63
	Brak (WM)	0.30			0.80	0.80			0.63
Ondiep open water	Zoet	0.20	0.35		0.50		0.30	0.40	0.35
	Zoet (WM)	0.30	0.35		0.60		0.25	0.50	0.40
	Brak (NA)	0.30	0.50		0.60		0.40	0.50	0.46
	Brak (WM)	0.40	0.50		0.70		0.40	0.60	0.52
Diep open water	Zoet	0.20	0.35		0.50		0.30		0.34
	Zoet (valmeer)	0.00	0.00		0.00		0.00		0.00
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).									

Tabel A.3.3 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in IJsselmeer (deel 3)

		Punten (Factor 1 × Factor 2 × Factor 3)							Weeg-factor × Kwaliteit
		Huidig	21R	Ba	MiB	WW	NA	WM	
Landzone	Dijk	1.6	1.6		1.6	1.6	1.6	0.35	0.05
	Verbreiding/verharding		0	0			0	0	0.00
	Overig Makkumer Noordwaard	149	149	149	149	149	149	149	0.99
Oever/Moeraszone	Zoet	259	259	259	259	259	259	259	0.86
	Brak (NA)						608		1.52
	Brak (WM)							1077	2.15
Ondiep open water	Zoet	416	412	416	416	416	268		0.46
	Zoet (WM)							343	0.52
	Brak (NA)						1840		0.92
	Brak (WM)							3159	1.56
Diep open water	Zoet	1946	1925	1942	1946	1946	1244	1406	0.24
	Zoet (valmeer)						0		0.00
	Totaal	2771	2746	2766	2771	2771	4369	?	
		100%	99%	100%	100%	100%	158%	?	
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).									
‘?’ = niet bekend.									

Tabel A.4.1 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in Waddenzee (deel 1)

	Factor 1 (Oppervlak)							Factor 2 (Weeg-factor)
	Huidig	21R	Ba	MiB	WW	NA	WM	
Droogvallende zandplaten, incl. mosselbanken	350	350	350	350	350	350	350	2.0
Landzone					450			0.4
Permanent overstromende zandbanken, incl. mosselbanken	8420	8420	8420	8420	8083	8420	8420	2.5
Geulen	830	830	830	830	717	830	830	0.7
Totaal	9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600	
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).								

Tabel A.4.2 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in Waddenzee (deel 2)

	Factor 3 (Kwaliteit)							
	Macro - fauna	Vissen	Amfibieën/reptielen	Vogels	Zoog-dieren	Algen/wieren	Hogere planten	Gemiddeld
Droogvallende zandplaten, incl. mosselbanken	0.30			0.70	0.55			0.52
Landzone				0.20	0.10		0.30	0.20
Permanent overstromende zandbanken, incl. mosselbanken	0.10	0.76		0.50	0.29	0.35		0.40
Geulen	0.10	0.61		0.50	0.29	0.35		0.37
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).								

Tabel A.4.3 Berekening natuurwaardeindicator-punten (NWI-punten) strook 3 km in Waddenzee (deel 3)

	Punten (Factor 1 × Factor 2 × Factor 3)							Weeg-factor × Kwaliteit
	Huidig	21R	Ba	MiB	WW	NA	WM	
Droogvallende zandplaten, incl. mosselbanken	362	362	362	362	362	362	362	1.03
Landzone					36			0.08
Permanent overstromende zandbanken, incl. mosselbanken	8420	8420	8420	8420	8083	8420	8420	1.00
Geulen	215	215	215	215	186	215	215	0.26
Totaal	8997	8997	8997	8997	8666	8997	8997	
	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	
Bron: CPB in overleg met Grontmij en PBL, mede op basis van Grontmij (2010c).								

A.4 Aandachtspunten natuurlandpuntenmethodiek

Een aandachtspunt voor het beleid is de duiding van een substantiële toename van het aantal natuurlandpunten. Indien die toename het gevolg is van een verandering van landtype, kan er een risico ontstaan op significant negatieve effecten in de Risicobeoordeling Natura 2000, omdat beschermde soorten eventueel niet passen binnen een ander landtype of omdat er voor een bestaand landtype een instandhouding- of verbeterdoelstelling bestaat in het kader van Natura 2000-afspraken. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het relatief beperkte effect dat de zandnok in WaddenWerken heeft op het aantal natuurlandpunten in de Waddenzee. Het vervangen van het landtype 'permanent overstroomde zandbanken' door 'land' (de zandnok) geeft een reductie van 4 %-punt op de NWI-score voor de Waddenzee. In de beoordeling op significant negatieve natuureffecten zal het verlies aan 'permanent overstroomde zandbanken' waarschijnlijk geduid worden als een significant effect, waardoor in dat geval geen vergunning afgegeven zal worden.

In het kader van een nationale welvaartsanalyse kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst bij de interpretatie van de natuurlandpunten:

- De toename van het oppervlak van een bepaald landtype leidt tot een evenredige toename van het aantal natuurlandpunten. Aangezien schaarste van een bepaald type gebied een belangrijke determinant is voor het totaal aantal punten, zou je verwachten dat er 'afnemende méeropbrengsten' zouden zijn indien er grootschalige gebieden van een bepaald landtype worden aangelegd. Dit lijkt in deze KEA Afsluitdijk overigens niet het geval.
- De waardering is voor een belangrijk deel een 'expert opinion'. In welvaartseconomische analyses (lees: KEA's en KBA's) is het gebruikelijk om uit te gaan van betalingsbereidheid van burgers. Hoewel de natuurlandpunten in dit rapport worden gebruikt om natuurmaatregelen onderling te vergelijken, hoeft vanuit een welvaartseconomisch perspectief niet elk natuurlandpunt gelijkwaardig te zijn.
- Verschillen in natuurlandpunten in dit rapport kunnen niet worden vergeleken met eerdere toepassingen van de methode. De verkregen natuurlandpunten bieden vooral inzicht in het effect van kernen ten opzichte van elkaar en dienen als relatieve waarden geïnterpreteerd te worden.
- Men heeft gekeken naar een strook van 3 km aan beide zijden van de Afsluitdijk. Indien men had gekozen voor een kleinere strook, van bijvoorbeeld 2 km, aan beide zijden van de Afsluitdijk dan zouden de absolute verschillen in natuurlandpunten tussen de kernen min of meer gelijk zijn. De procentuele verschillen zouden groter zijn geweest. Indien men had gekozen voor een grotere strook aan beide zijden van de Afsluitdijk dan zouden wederom de absolute verschillen tussen de kernen min of meer gelijk zijn, maar de procentuele verschillen kleiner.

Het is niet mogelijk om de natuurlandpunten te vertalen naar geldbedragen. Wel zou in beginsel een soort 'kosteneffectiviteitsanalyse' gemaakt kunnen worden, waarin het behaalde aantal punten per geïnvesteerde euro bepaald zou kunnen worden (zie ook Sijtsma et al., 2009).

De voor de KEA Afsluitdijk gehanteerde methode om te komen tot natuurlandpunten is mede gebaseerd op expert-opinion, de ecologische kwaliteit in het kader van de Kaderrichtlijn Water (voor het IJsselmeergebied) en berekeningen van de natuurkwaliteit voor de westelijke Waddenzee door het PBL (Wortelboer, 2010). Dit wijkt af van de eerdere toepassing van de natuurwaardeindicator (Sijtsma et al., 2009; Puijenbroek en Sijtsma, 2009) die gebaseerd was op Natuurdoeltypen.⁶⁶ De uitkomsten van de voor dit project ontwikkelde uitbreiding van de natuurlandpuntenmethode kunnen vooralsnog niet worden vergeleken met eerdere toepassingen van de NWI-methode.

⁶⁶ Op basis van het natuurdoeltypenhandboek (Bal et al. 2001).

De rol van de natuurlpunten in de besluitvorming⁶⁷

De meerwaarde van de natuurlpuntenmethodiek (ook wel 'NWI-methode' genaamd) is gelegen in het systematische karakter waarmee natuureffecten van de verschillende inrichtingsopties in kaart kunnen worden gebracht. Door de gewogen aggregatie van natuureffecten in natuurlpunten worden uiteenlopende effecten van de inrichtingsopties hanteerbaar gemaakt en tot één getal teruggebracht. Daardoor zijn natuurlpunten een geschikt hulpmiddel voor de *ordening* van projectalternatieven naar fysieke natuureffecten.

Het terugbrengen van een veelheid aan fysieke natuureffecten tot één getal geeft nog geen informatie over de waarde die de maatschappij hecht aan de veranderingen in natuur. Het opnemen van natuurlpunten in een maatschappelijke kosten-batenanalyse maakt wel inzichtelijk wat de afruilrelatie is tussen natuureffecten en andere projecteffecten. Immers, doordat natuurlpunten uit een gestandaardiseerde methodiek volgen, zijn in principe berekeningen van de kosteneffectiviteit mogelijk. Inzicht in de kosteneffectiviteit per inrichtingsoptie is verhelderend, maar de afweging tussen biodiversiteit (natuurlpunten) en euro's blijft een politieke afweging.

Natuurlpunten zijn niet geschikt voor juridische toetsing. Natuurgebieden, habitats en specifieke soorten worden wettelijk op nationaal en Europees niveau beschermd. Of een project al dan niet juridisch in strijd is met de randvoorwaarden kan niet met behulp van natuurlpunten worden vastgelegd. Immers, natuurlpunten resulteren uit de gewogen aggregatie van natuureffecten terwijl de wettelijke toetsing zich op het niveau van individuele habitats en soorten afspeelt.

⁶⁷ Vrijwel letterlijk gebaseerd op een second opinion van het PBL op de NWI-berekeningen voor de KEA Afsluitdijk (Grontmij, 2010c), zie De Hollander (2011).

Bijlage B Berekeningen energieverbruik/-opbrengst en additionele CO₂-uitstoot

B.1 Elektriciteits- en CO₂-prijzen

In dit rapport wordt een elektriciteitsprijs van 7,9 ct/kWh (incl. 19% btw, 6,6 ct/kWh excl. btw) aangehouden voor 2020. Dit is in overeenstemming met de prijs zoals door Hoefsloot en De Pater (2010) is ontleend aan Daniëls en Van der Maas (2009). Daniëls en Van der Maas (2009) hebben een update uitgewerkt voor het WLO-scenario *Global Economy*. Wij hanteren die ook omdat er geen bruikbaar alternatief voorhanden is. Gezien de gekozen uitgangspunten voor de KEA Afsluitdijk was een elektriciteitsprijs gebaseerd op het WLO-scenario *Transatlantic Market* consistentere geweest. Een groothandelsprijs van 6,6 ct/kWh komt redelijk overeen met de elektriciteitsprijs zoals in het najaar van 2010 wordt genoteerd op de energiebeurs APX-ENDEX.⁶⁸ Op 2 november 2010 werd bijvoorbeeld een *future* op elektriciteit in 2015 op ENDEX verhandeld voor 5,6 ct/kWh (excl. btw; 55,92 euro/MWh voor *baseload*, basislast geleverd door centrales met een vast vermogen, zoals kolencentrales).

Evens in Hoefsloot en De Pater (2010) wordt in dit rapport verondersteld dat de bovengenoemde elektriciteitsprijs kan worden gehanteerd voor de gehele periode van 2020 tot en met 2100. Ook wordt verondersteld dat de kosten van CO₂-uitstoot verwerkt zijn in de bovengenoemde elektriciteitsprijs. Hierbij wordt een CO₂-prijs van 35 euro/ton in 2020 gehanteerd.⁶⁹ Dit betekent overigens een stijging ten opzichte van het jaar 2010, waarin de CO₂-prijs zich bewoog binnen een bandbreedte van 12-17 euro/ton.⁷⁰

De ontwikkeling van de CO₂-prijs na 2020 is met name afhankelijk van de inrichting van de eventuele opvolger van het huidige Europese emissiehandelssysteem, ETS (*EU Emission Trading Scheme*). Door de gehanteerde aannamen wordt impliciet verondersteld dat ook na 2020 een emissieplafond wordt overeengekomen. De uiteindelijke CO₂-reductie wordt bepaald door het afgesproken plafond. De CO₂-prijs, die afhankelijk is van de hoogte van dit plafond, wordt verondersteld doorberekend te zijn in de elektriciteitsprijs, waardoor alle eventuele baten uit CO₂-reductie al zijn opgenomen in de prijs voor elektriciteit.⁷¹

B.2 Pompturbines en getijenergie (WaterMachine)

Energieopbrengst turbines (getijenergie)

Op basis van het maximale peilverschil en het debiet kan het vermogen voor de opwekking van elektriciteit uit waterkracht worden bepaald. De opbrengst per jaar volgt uit de vermenigvuldiging van het vermogen met het aantal vollasturen. Vollasturen geven het omgerekende aantal uren weer dat een installatie in bedrijf zou zijn om een gegeven opbrengst te genereren bij maximaal vermogen. Voor een adequate inschatting van het aantal vollasturen van een turbine moet het verloop van het peilverschil bekend zijn. Dat laatste is lastig omdat het direct samenhangt met de zoetwatertoevoer, het peilbeheer in het IJsselmeer en de zeespiegelstijging aan de kant van de Waddenzee.

⁶⁸ <http://www.apxindex.com/?id=281>.

⁶⁹ Hoefsloot en De Pater (2010) concluderen op basis van bronnen van ECN en PBL dat van de 6.6 ct/kWh 1,75 cent wordt veroorzaakt door de prijs van CO₂-rechten van 35 euro per ton. Een verandering van de CO₂-prijs met 10 euro per ton leidt – als vuistregel – tot circa 0,5 cent verandering in de stroomprijs (Hoefsloot en De Pater, 2010, p.16).

⁷⁰ http://zakelijk.nuon.nl/zakelijk/producten/maatwerk/energiediensten/marktrapport/laatste_marktrapport.jsp?from=marktrapport.

⁷¹ Het is op dit moment niet mogelijk om een inschatting te maken van de lange termijnrelatie tussen de prijzen voor energie- en CO₂. Indien bijvoorbeeld in een toekomstige overeenkomst het emissieplafond zal worden verlaagd, zal de CO₂-prijs toenemen. Wanneer dit echter zou leiden tot een volledig duurzame energievoorziening, zal de CO₂-prijs niet meer van invloed zijn op de prijs voor elektriciteit.

Het hydraulisch vermogen⁷² wordt berekend volgens:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h. \quad (\text{B.1})$$

Met:

- Debiet: Q [m^3/s],
- Hoogteverschil (peilverschil, verval): Δh [m],
- Dichtheid van water (=1000): ρ [kg/m^3],
- Zwaartekrachtsversnelling: g ($= 9,81 \approx 10$) [m/s^2].

Dit vermogen dient te worden gecorrigeerd voor rendementsverliezen met een systeemrendement.⁷³ Door Van Vossen et al. (2010, p. 51) wordt uitgegaan van een gecorrigeerd vermogen van 5 MW, gebaseerd op een debiet van $800 \text{ m}^3/\text{s}$, een verval van 1 m en een systeemrendement van 0,65. Dit vermogen is overgenomen door Lako et al. (2010, p.13) en verrekend met een aantal vollasturen dat per jaar met 6 uur afneemt. Door de zeespiegelstijging moet de pompturbine vaker IJsselmeerwater wegpompen, waardoor er minder tijd overblijft voor het opwekken van turbine-energie. Het aantal vollasturen in 2010 dat is aangenomen door Lako et al. (2010) bedraagt 2.400 uur. Dit komt overeen met een elektriciteitsproductie van 12 GWh, zoals verondersteld in Van Vossen et al. (2010, p. 50). In 2100, bij 1.860 vollasturen, is het 9,3 GWh. Uitgaande van een elektriciteitsprijs van 7,6 ct/kWh (incl. btw) is de totale opbrengst bij een discontovoet van 5,5% gelijk aan 13 mln euro CW (basisjaar 2015, prijspeil 2009). De berekeningen zijn gecontroleerd door Movares (Rol, 2010, hoofdstuk 6).

Energieverbruik pompen

Het energieverbruik van de pompen kan eveneens worden gebaseerd op formule (B.1). Het gemiddelde streefpeil (over zomer en winter) van het IJsselmeer is -30 cm NAP. Het gemiddelde peil van de Waddenzee anno 2010 over de gehele dag is 0 NAP (zie paragraaf 2.2), terwijl het maximum gelijk wordt verondersteld aan 90 cm NAP en het minimum aan -90 cm NAP.

Voor een goede inschatting van de verwachte energieproductie dienen naast allerlei technische en hydraulische aspecten ook meegenomen te worden dat het IJsselmeerpeil niet met 25 cm wordt verhoogd en de Waddenzee stijgt conform het W+-scenario. In lijn met de berekening van het consortium achter WaterMachine, zoals besproken door Van Vossen et al. (2010, pp. 3-9 van bijlage 3) blijft het debiet per jaar 16 miljard m^3 tot 2100 (ongeveer $500 \text{ m}^3/\text{s}$), maar de verdeling tussen Den Oever (spui) en Kornwerderzand (pomp) verschuift in de loop van de tijd. De verhoudingen in Van Vossen et al. (2010) zijn gecorrigeerd voor de 25 cm peilopzet en gezet op 11 miljard m^3 in Den Oever en 5 miljard m^3 per jaar in Kornwerderzand in 2010. Dat laatste komt overeen met $160 \text{ m}^3/\text{s}$.

Er moet dus tot 2100 veelvuldig gepompt worden en dan kan er nauwelijks getijenergie worden opgewekt. Om een nauwkeuriger inschatting te verkrijgen van de netto energieproductie uit getijenergie beveelt Van Vossen et al. (2010, p.76) aanvullend onderzoek aan.

⁷² Het (hydraulisch) vermogen wordt berekend door vermenigvuldiging van het debiet met een drukverschil. Druk wordt bepaald als de kracht die 1 newton uitoefent op 1 vierkante meter, oftewel de kracht die een massa van 1 kilogram een versnelling van $1 \text{ m}/\text{s}^2$ geeft per vierkante meter. Enigszins vereenvoudigd gesteld gaat het bij het hydraulisch vermogen om de inspanning (arbeid) die nodig is om water één meter 'omhoog te duwen', of de arbeid die één meter vallend water kan verrichten.

⁷³ Het volumetrisch rendement is een factor om het debiet te corrigeren voor bijvoorbeeld lekkage. Het elektrisch en hydraulisch rendement corrigeren voor verlies bij energieomzetting. Het product van deze rendementen is het systeemrendement.

De berekening in dit rapport gaat uit van een jaarlijkse stijging tussen 2010 en 2100 van de zeespiegel van (afgerond) 1 cm⁷⁴ gebaseerd op het W+-scenario. Dit is in lijn met een zeespiegelstijging tussen 2010 en 2035 van +25 cm. In 2060 is de zeespiegel dan met 50 cm gestegen. Hierdoor zal rond 2060⁷⁵ spuien vrijwel niet meer mogelijk zijn. Vanaf dat moment wordt het volledige debiet van 500 m³/s verpompt via Kornwerderzand. Omdat de spui in Den Oever in gebruik is in 2020, hoeft initieel maar een deel worden weggepompt. In 2020 dient zo'n 230 m³/s te worden weggepompt (mede gebaseerd op Van Vossen et al., 2010). Dit debiet loopt langzaam op naar de eerder genoemde 500 m³/s in 2060. Het wegpompen van water gebeurt zoveel mogelijk tijdens eb. De gemiddelde opvoerhoogte in 2020 is 17 cm. Dit loopt op tot 75 cm in 2100 (bij het W+-scenario).

Gebaseerd op een suggestie in Rol (2010), wordt in de berekening aangenomen dat het geïnstalleerde pompvermogen optimaal wordt ingezet. Uitgaande van een maximale capaciteit van 1.000 m³/s, is het mogelijk om dezelfde hoeveelheid water in de helft van de tijd weg te pompen dan wanneer het debiet 500 m³/s zou bedragen. Een hoger debiet over een korte tijd biedt de mogelijkheid om alleen bij lagere opvoerhoogten (lees: eb) te pompen.

De kosten worden berekend vanaf 2020 (oplevering). Als systeemrendement wordt 0,66 gehanteerd voor een optimaal ontworpen pomp. Voor het aangepaste ESA-ontwerp (na ombouw tot pomp) wordt een 20% lager systeemrendement gehanteerd: 0,53. Bij een elektriciteitsprijs van 7,6 ct/kWh (incl. btw) is het totale verbruik van de pompen in WaterMachine (met dus een aangepast ESA-ontwerp) bij een discontovoet van 5,5% gelijk aan 24 mln euro (CW, basisjaar 2015, prijspeil 2009 in marktprijzen). De berekeningen zijn gecontroleerd door Movares (Rol, 2010, hoofdstuk 6).

B.3 Energieverbruik extra pompen (Werkhypothese)

De berekening van het energieverbruik voor de pompgemalen uit de werkhypothese komt overeen met de berekening in B.2. Omdat wordt aangenomen dat deze gemalen een aanvulling vormen op de aanwezige spuicapaciteit (incl. ESA), is verondersteld dat het debiet tussen 2035 en 2060 toeneemt van 0 naar 500 m³/s. Bij een elektriciteitsprijs van 7,6 ct/kWh (incl. btw) is het totale verbruik bij een discontovoet van 5,5% gelijk aan 8 mln euro (CW, basisjaar 2015, prijspeil 2009 in marktprijzen).

B.4 Energieverbruik Valmeer (Natuurlijk Afsluitdijk)

De opbrengst uit het Valmeer is uitsluitend gebaseerd op een verschil tussen nacht- en dagtarief. Door Hoefsloot en De Pater (2010) is een nachttarief van 6,5 ct (incl. btw) aangenomen en een dagtarief van 8,9 ct (incl. btw). Uitgaande van het bestaan van een emissiehandelssysteem over de gehele periode, zijn de CO₂-kosten in deze bedragen verwerkt. Met een opbrengst van 1,2 GWh per etmaal voor turbinen (9 uur) en een verbruik van 1,7 GWh voor pompen (13 uur), komt de netto opbrengst op ongeveer 9.000 euro (incl. 19% btw) per dag. De totale opbrengst bij een discontovoet van 5,5% is gelijk aan 47 mln euro CW (basisjaar 2015, prijspeil 2009 in marktprijzen).

B.5 Energieopbrengst blue energy-centrale (Natuurlijk Afsluitdijk)

Met een vermogen van 200 MW in 2032 en 8.000 vollasturen per jaar (capaciteitsfactor 0,91), bedraagt de jaarlijkse energieproductie van de blue energy-centrale 1.600 GWh. Uitgaande van een elektriciteitsprijs van 7,6 ct/kWh (incl. btw) is de totale opbrengst bij een discontovoet van 5,5% gelijk aan 946 mln euro CW (basisjaar 2015, prijspeil 2009 in marktprijzen). In de kostenraming is uitgegaan van de RED technologie (zie hoofdstuk 5 en Hoefsloot en De Pater, 2010). Dit komt overeen met de onderzijde van de bandbreedte die ECN schetst (Lako et al. 2010). De RED technologie lijkt zich te ontwikkelen tot de goedkoopste technologie. De opbrengsten en de kosten van een blue energy-centrale zijn aan grote onzekerheden onderhevig. Zie de bespreking hiervan in hoofdstuk 6.

⁷⁴ Dit is niet helemaal conform het oorspronkelijke W+-scenario. Het W+-scenario geldt voor de periode van 1990 tot 2100 en bevat voor de zeespiegelstijging een knik in 2050. In 2050 ligt het gemiddelde peil maximaal 35 cm boven dat van 1990 en in 2100 is dat maximaal 85 cm. De stijging van 1 cm per jaar geldt daarom in het W+-scenario tussen 2050 en 2100. De zeespiegelstijging tussen 1990 en 2010 is nog onvoldoende betrouwbaar vast te stellen. Indien we veronderstellen dat die beperkt is geweest, dient de zeespiegelstijging tussen 2010 en 2050 ook (afgerond) 1 cm per jaar te bedragen om de eerder genoemde +35 cm t.o.v. 1990 te bereiken.

⁷⁵ Het huidige gemiddelde verval tijdens spuien is 50 cm (Rijkswaterstaat, 2005a). Bij een stijging van de zeespiegel met 50 cm is het gemiddelde verval dus 0 cm.

B.6 Additionele CO₂-uitstoot aanleg kernen?

Verschillen in CO₂-uitstoot van de aanleg van de verschillende kernen mogen niet als een additioneel effect worden meegenomen. De reden is dat de (maatschappelijke kosten van) additionele CO₂-uitstoot normaal gesproken al zijn meegenomen bij de andere kosten. De kosten van CO₂-uitstoot zijn veelal een onderdeel van de energiekosten (brandstof of elektriciteit) die een onderdeel vormen van de aanleg- en onderhoudskosten van de kernen. Dit vanwege allerlei beleidsinstrumenten die erop gericht zijn de externe effecten van de uitstoot te internaliseren in marktprijzen (zie ook B.1). Het kan daarbij gaan om accijnzen, CO₂-certificaten, maar ook om bijvoorbeeld compenserende maatregelen die worden meegenomen in gunningcriteria (AgentschapNL, 2010a, b). Hierdoor kan worden aangenomen dat de effecten van CO₂-uitstoot zijn opgenomen in de kosten zoals vermeld in de KEA-tabellen. Het toevoegen van een extra post zou in dat geval leiden tot dubbeltellingen.

Bijlage C Kanttekeningen bij de kostenramingen

C.1 Bronnen

De investerings- en onderhoudskosten zijn voor bijna alle posten afkomstig van Rijkswaterstaat (2010). Enkele uitzonderingen hierop zijn hieronder toegelicht:

- De investerings- en beheer en onderhoudskosten van de blue energy-centrale zijn conform de inschatting van ECN (Lako et al., 2010). De door RWS aangeleverde kostenschatting is gebaseerd op de inschatting van het consortium. Hiervan is echter geen enkele onderbouwing bekend. De weergegeven kosten komen overeen met Hoefsloot en De Pater (2010).
- De investeringskosten voor de pompturbines in WaterMachine en de kosten van een optimaal ontworpen gemaal zijn gebaseerd op een in opdracht van de projectorganisatie gemaakt rapport van Movares (RoI, 2010). De kosten van ESA zijn naar aanleiding van deze opdracht naar boven bijgesteld ten opzichte van de oorspronkelijk door RWS aangeleverde kostenschattingen voor ESA. Van Movares is ook de informatie afkomstig dat de kosten van een pomp min meer rechtvaardig zijn aan de capaciteit. Een pomp met een capaciteit van 500 m³/s kost dus de helft van een pomp met een capaciteit van 1.000 m³/s. Rijkswaterstaat heeft de kostenramingen van Movares gecontroleerd.
- Er zijn volgens later verkregen informatie van Rijkswaterstaat verschillende vormen van vispassages. Een dergelijk passage kan worden gerealiseerd door aanpassingen in spui-beheer met aanvullende fysieke maatregelen, zoals voorzien bij ESA. Hier zijn verschillende uitvoeringsvormen denkbaar. De kosten daarvan bedragen tussen de 6 en 36 mln euro (nominaal, marktprijzen 2009). Een vispassage kan ook worden gerealiseerd als een apart object. Afhankelijk van de uitvoeringsvorm bedragen de kosten tussen de 13 en 20 mln euro (nominaal, marktprijzen 2009).
- In de definitie van de kern van Natuurlijk Afsluitdijk wordt uitgegaan van een verondiept tussenmeer. In Rijkswaterstaat (2010) worden geen kosten voor deze verondieping gegeven, omdat het consortium er aanvankelijk van uitging dat op een natuurlijke wijze via getij schorren kunnen ontstaan. Het bedrag in dit rapport – 260 mln euro (incl. btw en BLS) – is afkomstig van een schatting door Projectteam Afsluitdijk (2010).

Er is onduidelijkheid over dit bedrag. Volgens Rijkswaterstaat hangen de kosten van verondieping af van de randlengte van de binnendijk van de meren. Die is bij Natuurlijk Afsluitdijk (6 km, vanwege het Valmeer) korter dan bij WaterMachine (10 km), waardoor de kosten van verondieping bij Natuurlijk Afsluitdijk zo'n 220 mln euro lager kunnen zijn dan bij WaterMachine. Echter de totale oppervlakte 'verondiept' water is bij Natuurlijk Afsluitdijk (24 km²) min of meer even groot als bij WaterMachine (25 km²) conform aannames zoals gehanteerd bij de NWI-berekeningen. Daarom lijkt het verstandig rekening te houden met eventuele hogere kosten bij het verondiepen van het tussenmeer bij Natuurlijk Afsluitdijk om de beoogde natuureffecten ook daadwerkelijk te kunnen bereiken.

In tegenstelling tot de definities van de kernen uit hoofdstuk 4 wordt in Rijkswaterstaat (2010) uitgegaan van enkele alternatieven – in de vorm van een gefaseerde vervanging – van schut- en/of spuisluizen. Deze alternatieven zijn in dit rapport opgenomen in een gevoeligheidsanalyse (zie hoofdstuk 8).

C.2 BTW en agentschapkosten

Alle investerings- en onderhoudskosten zijn inclusief 19% btw en 20% agentschapbijdrage (BLS). In overeenstemming met de kostennota is over de blue energy-centrale geen agentschapbijdrage berekend, omdat naar verwachting een eventuele blue energy-centrale niet door Rijkswaterstaat zal worden gebouwd.

C.3 Onderhouds- en beheerkosten

In de kostennota (Rijkswaterstaat, 2010) zijn wel de kosten voor onderhoud, maar niet voor beheer opgenomen. Onder de post 'onderhoud' vallen alle kosten die Rijkswaterstaat uitgeeft aan onderhoudskosten (Regeling, 2010a). De kosten van beheer (door Rijkswaterstaat) zijn niet meegenomen in deze post (Regeling, 2010a) en zijn daarom 'niet bekend (?)'. Wel wordt aangenomen dat deze kosten tussen de kernen (vrijwel) niet zullen verschillen (Projectteam Toekomst Afsluitdijk, 2010).

Voor bijna alle onderdelen is voor onderhoud een jaarlijks percentage van 0,75% van de investeringskosten aangehouden (Rijkswaterstaat, 2010). Dit is gebaseerd op de jaarlijkse onderhoudskosten zoals bepaald voor het project Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (ESA). De volgende onderdelen kennen volgens Rijkswaterstaat (2010) een afwijkend jaarlijks onderhoudspercentage:

- Overslagbestendig maken (Basisalternatief en WaterMachine): 1%,
- Zandnok WaddenWerken: 3%,
- Gerenoveerde kunstwerken Basisalternatief: de *absolute* jaarlijkse onderhoudskosten zijn overgenomen van overeenkomstige nieuwbouwopties. Het bijbehorende percentage varieert van ruim 1,5% tot 2,5%.

C.4 Afwijkende marges

In Rijkswaterstaat (2010, p. 8) wordt aangegeven dat de ramingen voor Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine, zoals aanvankelijk opgesteld door de consortia, niet waren opgebouwd volgens de SSK-systematiek. Door Rijkswaterstaat (2010) zijn enkele verbeteringen aangebracht. Omdat de kosten op een 'vrij hoog abstractieniveau' (Rijkswaterstaat, 2010, p. 34) zijn aangeleverd of slechts 'op hoofdlijnen' (Rijkswaterstaat, 2010, p. 47) zijn onderbouwd, is in enkele gevallen de post 'onvoorzien' – die in het eindbedrag is inbegrepen en daardoor niet zichtbaar is – aangepast. Ook wijkt voor enkele posten de marge af van de $\pm 25\%$ van een SSK-raming. De posten waarvoor dit geldt, zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel C.1 Onderdelen van kernen met een onzekerheidsmarge afwijkend van $\pm 25\%$

		Totaal mln euro	Marge min %	Marge plus %
NA-K-01	Versterking dijk, buitenberm, kruinverlegging, versterken en verbreden	448,93	25%	35%
NA-K-02	Grondverzet t.b.v. ontgraven Valmeer (tot NAP -15m) en aanleg ringdijk op 5m +NAP	701,50	25%	35%
NA-K-04	Zanddijk in het IJsselmeer fase 1 en Brak watermeer	351,48	25%	35%
WM-K-01	Overslagbestendig maken (125 l/(ms))	264,36	25%	35%
WM-K-02	Nooduitlaat (60m breed deuren van 4m +NAP tot 4- NAP = 480 m2)	50,84	20%	35%
WM-K-03	Ophoging rest Afsluitdijk (circa 5 km)	66,90	25%	35%
WM-K-04	Oostelijk deel zanddam (Zanddam met schelpendam Fase 1)	312,80	25%	35%
WM-K-07	Verondieping fase 1 (WM)	481,08	25%	35%
Kw-K-16	Spui K1 Kornwerderzand buiten gebruik	4,54	30%	50%
Kosten tegen marktprijzen (lees: inclusief btw) en kosten Rijkswaterstaat.				

Bijlage D Discontovoet

De kern van het voorschrift (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2009) voor de discontovoet voor kosten-batenanalyses is dat bij de beoordeling van de projecteffecten wordt uitgegaan van een risicovrije discontovoet van 2,5% in combinatie met een in beginsel projectspecifieke risico-opslag. In deze KEA Afsluitdijk wordt – net als in vrijwel alle gevallen – gekozen voor de standaardwaarde voor deze risico-opslag van 3%. Dit brengt de discontovoet voor het merendeel van de projecteffecten dus op totaal 5,5%.

Sommige projecteffecten kunnen echter het risico van ongewenste langetermijneffecten verlagen of wegnemen. Deze projecteffecten kunnen worden beschouwd als een ‘verzekering’ tegen een toekomstige ongewenste situatie. Om dergelijke effecten correct te waarderen, is een aangepaste risico-opslag wenselijk. Voor bepaalde projecteffecten, waarbij in belangrijke mate langetermijnnonomkeerbaarheden spelen, kan de standaard risico-opslag van 3% gehalveerd worden. Voor die effecten geldt dan dus een discontovoet van in totaal 4% (= 2,5% + 1,5%).

Deze gehalveerde risico-opslag geldt uitsluitend voor negatieve externe effecten die door het project worden ondervangen of door een project worden veroorzaakt. Het geldt niet voor effecten die een prijs kennen die alle maatschappelijke kosten correct weerspiegelt of waarbij deze op een andere manier zijn geïnternaliseerd. Het betreft bovendien alleen externe effecten met een onomkeerbaar karakter. Zie Tweede Kamer der Staten-Generaal (2009) voor nadere informatie en verwijzingen naar relevante literatuur.

Een post in de KEA Afsluitdijk die in aanmerking zou kunnen komen voor een halvering van de risico-opslag, wordt gevormd door negatieve externe effecten als gevolg van CO₂-uitstoot bij energieverbruik. Hieraan gerelateerde positieve externe effecten houden verband met de duurzame opwekking van energie. In de elektriciteitsprijzen zoals gehanteerd in de KEA is de veronderstelling verwerkt dat er voor CO₂ tot en met 2100 een emissiehandelssysteem bestaat, waardoor deze externe effecten zijn geïnternaliseerd. Een reductie in CO₂-emissies door Afsluitdijkinitiatieven zal door het CO₂-emissieplafond hoogstwaarschijnlijk leiden tot minder reductie van CO₂ elders in Nederland of Europa. Daarmee is er dus geen sprake van een permanente verlaging van de uitstoot van CO₂ en is ook het toepassen van een lagere risico-opslag niet aan de orde. Het bestaan van een CO₂-emissieplafond betreft een aanname, omdat het verdrag voor het huidige emissiehandelssysteem loopt tot 2020 (zie bijlage B).

Bij waterveiligheid worden de baten berekend op basis van het voorkomen van schade. Hiervoor zou een gehalveerde risico-opslag gehanteerd kunnen worden. In de KEA wordt aangenomen dat een deel van de schade bij overstromen financiële schade is die door de overheid wordt vergoed en dat deze schade ook weer geheel te repareren is (geen duurzaam effect). Voor dit deel zou dan 5,5% aangenomen moeten worden, voor een ander deel 4%. In dit rapport wordt daarom 4,7% als ‘een gemiddeld percentage’ gehanteerd.

Bijlage E Flexibiliteit

E.1 Inleiding

Voor elke kern is nagegaan welke minder- en méérkosten logisch volgen uit, respectievelijk, een lagere dan wel hogere zeespiegelstijging: aangeduid met scenario 'laag' en scenario 'hoog'. Zie paragraaf 6.3 voor een nadere uitleg van beide scenario's.

Hierbij wordt alleen gekeken naar de aanleg, investerings- en energiekosten van de kernen. De inschatting van minder- en meerkosten is gemaakt door het CPB. Hierbij is gebruik gemaakt van Deltaprogramma IJsselmeergebied (2010). In deze publicatie wordt onder andere nagegaan in hoeverre de kernen, gezien vanuit het perspectief van het Deltaprogramma, aangepast kunnen worden aan 'aangepaste veiligheidsnormeringen' en 'veranderende ontwerprandvoorwaarden vanuit veiligheid'.

Per kern worden de aanpassingen voor scenario 'laag' en 'hoog' beschreven. Doordat het hoge scenario tot 2050 overeenkomt met het gehanteerde basisscenario (W+) behoeft geen enkele kern vóór 2050 aanpassingen.

E.2 Aanpassingen voor scenario 'laag' en 'hoog' per kern

2100-Robuust behoeft in scenario 'laag' weinig aanpassingen. De enige aanpassing betreft de oorspronkelijk benodigde pompen uit de werkhypothese. De eerst voorziene pomp van 1.000 m³/s is pas nodig bij een zeespiegelstijging van 25 centimeter en dus in scenario 'laag' rond 2070 (i.p.v. 2035). De tweede pomp komt in de periode tot 2100 te vervallen. Bij het hoge scenario stijgt de zeespiegel met 120 cm in plaats van 85 cm. In het dijkontwerp van 2100-Robuust is de optie ingebouwd om later de dijk tegen beperkte kosten te verhogen met 1 à 1,5 meter (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010). We nemen aan dat het realiseren van deze optie rond 2080 (net) voldoende⁷⁶ is om te blijven voldoen aan de vereiste wettelijke veiligheidsnorm van 1 op 10.000. Hoewel er geen kosteninschatting bekend is, wordt verondersteld dat deze (nominale) extra kosten 100 mln euro bedragen. Voor de overige kernen worden vergelijkbare veronderstellingen gemaakt. Voor de kunstwerken is het gebruikelijk dat ze in de ontwerpfase veiliger (robuuster) worden ontworpen dan minimaal voorgeschreven (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010). Het lijkt logisch te veronderstellen dat ook de kunstwerken op eenzelfde veiligheidsniveau worden aangelegd als de dijkoplossing van 2100-Robuust inclusief de optie tot verhoging. Voor de kunstwerken zijn er dan dus geen extra kosten noodzakelijk. De extra pomp in 2060 moet wel eerder worden aangelegd. De zeespiegelstijging van 45 cm (10 cm na 2050) waarbij deze pomp nodig is, is in scenario 'hoog' al in 2056 bereikt.

Bij Basisalternatief vervalt in scenario 'laag' de ophoging van het dijklichaam in 2050. De (gerenoveerde) kunstwerken moeten in deze kern oorspronkelijk worden vervangen vanwege zowel de zeespiegelstijging als veroudering. Hoewel het argument van zeespiegelstijging in scenario 'laag' komt te vervallen, wordt veiligheidshalve aangenomen dat ze toch moeten worden vervangen vanwege hun ouderdom. De eerst voorziene pomp van 1.000 m³/s is in scenario 'laag' pas rond 2070 (i.p.v. 2035) nodig. De tweede pomp komt net als bij 2100-Robuust te vervallen. Bij het hoge scenario moet de dijk toch worden opgehoogd in 2050 en de schutsluizen worden vernieuwd. De dijk wordt dan gelijk – tegen 50 mln extra nominale kosten – op de vereiste hoogte gebracht. De extra pomp in 2060 moet wel eerder worden aangelegd. De zeespiegelstijging van 45 cm (10 cm na 2050) is in scenario 'hoog' al in 2056 bereikt. Nieuwbouw van de spuien Den Oever en Kornwerderzand komt te vervallen in 2050: de oude spuisluisen worden dichtgezet. Die zijn namelijk niet meer noodzakelijk vanwege de pomp van 1.000 m³/s in 2035 en de bouw van ESA (in 2020).

Monument in Balans en WaddenWerken wijken alleen af van 2100-Robuust vanwege de dijkoplossing. In het ontwerp van het stormschild is al voorzien in een extra zware fundering. Bij een extra verhoging conform het hoge scenario lijkt aanpassing van de fundering niet nodig, wel zijn de kosten mogelijk relatief hoog omdat het stormschild zelf vervangen

⁷⁶ Bij 2100-Robuust wordt de Afsluitdijk 2,5 meter verhoogd voor een zeespiegelstijging van 85 cm. Een simpele extrapolatie naar 120 cm komt op een totale verhoging van 3,5 (= 120/85 * 2,5) meter. Een verhoging die met de optie wordt bereikt.

moet worden (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010). Omdat geen inschatting beschikbaar is van de kosten van een aangepast stormschild, wordt verondersteld dat de kosten (nominaal) 150 mln euro bedragen in 2080 (zo'n 50% van de oorspronkelijke aanlegkosten).

Bij WaddenWerken dient de zandnok (bedekt met klei en gras) opgehoogd te worden. Hiertoe moet waarschijnlijk eerst de toplaag verwijderd worden, waarna er extra zand opgespoten kan worden. De oude toplaag kan daarna weer worden teruggelegd. Dit lijkt relatief goedkoop (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010), waardoor bij deze kern een bedrag van 50 mln euro in 2080 wordt aangehouden. Mogelijk kan zowel bij Monument in Balans als bij WaddenWerken een soortgelijke optie ingebouwd worden als bij 2100-Robuust, waarbij het uiteraard mogelijk is de dijkoplossing direct in 2020 nog sterker te maken dan nu voorzien.

Ook Natuurlijk Afsluitdijk behoeft in scenario 'laag' weinig aanpassingen. De enige aanpassing betreft de oorspronkelijk benodigde pompen uit de werkhypothese. De eerst voorziene pomp van 600 m³/s is pas nodig rond 2070 (i.p.v. 2035). De tweede pomp komt te vervallen. In het hoge scenario moet de dijk worden verhoogd. In het dijkontwerp is – gelijk aan 2100-Robuust – reeds de optie ingebouwd om later de dijk tegen beperkte kosten te verhogen met 1 à 1,5 meter (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2010). Hoewel er geen kosteninschatting bekend is, wordt verondersteld wordt dat deze (nominale) extra kosten 100 mln euro bedragen (gelijk aan 2100-Robuust). De extra pomp in 2060 moet wel eerder worden aangelegd: de zeespiegelstijging van 45 cm (10 cm na 2050) is in scenario 'hoog' al in 2056 bereikt.

In het lage scenario bij WaterMachine komt zowel de tweede dijkverhoging in 2065 als de additionele pomp (1.100 m³/s) in 2060 te vervallen. In het hoge scenario is de 15 cm zeespiegelstijging na 2050 al in 2059 bereikt (i.p.v. in 2065), zodat in dat jaar de dijk moet worden opgehoogd. Die wordt dan gelijk – tegen 50 mln extra nominale kosten – op de vereiste hoogte gebracht. De extra pomp in 2060 moet ook eerder worden aangelegd. De zeespiegelstijging van 45 cm (10 cm na 2050) is in scenario 'hoog' al in 2056 bereikt.

Kostentabellen

In onderstaande tabellen staan de aanleg- en onderhoudskosten (inclusief energiegebruik/opwekking) voor de kernen weergegeven voor de scenario's 'laag' en 'hoog'. Bedragen zijn in contante waarde bij een discontovoet van 5,5% (prijspeil 2009, basisjaar 2015).

Tabel E.1 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik/opwekking bij scenario 'laag'*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam	440	260	360	440	430	320
Schutsluizen	200	120	200	200	200	200
Spuisluisen	690	610	690	690	530	230
Energie-elementen	0	0	0	0	1.730	710
Natuur	0	0	0	0	550	690 + ?
Pompgemalen	30	30	30	30	20	0
Mitigatie	0	0	0	?	0	0
Energie	0	0	0	0	990	0
Totaal (excl. '?')	1.370	1.030	1.280	1.360	2.480	2.140
Verskil t.o.v. 21R (positief = lagere kosten)	ref	330	80	10	-1.110	-780
*Contante waarde, marktprijzen, mln euro's.						
? = niet bekend.						
Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvouden van 10 mln euro.						

Tabel E.2 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik/opwekking bij scenario 'hoog'*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam	450	350	370	440	440	380
Schutsluizen	200	120	200	200	200	200
Spuisluisen	690	530	690	690	530	230
Energie-elementen	0	0	0	0	1.730	710
Natuur	0	0	0	0	550	690 + ?
Pompgemalen	310	310	310	310	220	80
Mitigatie	0	0	0	?	0	0
Energie	10	10	10	10	980	20
Totaal (excl. '?')	1.660	1.340	1.580	1.650	2.690	2.300
Verschil t.o.v. 21R (positief = lagere kosten)	ref	320	80	10	-1.030	-640
*Contante waarde, marktprijzen, mln euro's. ? = niet bekend. Totalen kunnen door afronding afwijken van de som van de afzonderlijke onderdelen. Bedragen afgerond op veelvoud van 10 mln euro.						

E.3 Baten flexibiliteit

Om de waarde van flexibiliteit te bepalen worden de hierboven weergegeven verschillen ten opzichte van 2100-Robuust gerelateerd aan de oorspronkelijke verschillen.

Uit onderstaande tabel kan worden opgemaakt dat de besparing op Basisalternatief bij scenario 'laag' 80 mln euro groter is dan de besparing die mogelijk is op 2100-Robuust. Het kostenverschil tussen beide kernen wordt dan dus groter. Dit komt doordat de tweede verhoging van het dijklichaam bij Basisalternatief dan niet meer nodig is en dit bespaart 80 mln euro extra.

Bij scenario 'hoog' kan er bij Basisalternatief per saldo 50 mln worden bespaard. De nieuwbouw van de spuisluizen Den Oever en Kornwerderzand in 2050 kunnen achterwege worden gelaten, hetgeen 70 mln euro bespaard. Daar staan wel wat extra energiekosten voor pompen tegenover. Per saldo dus een besparing van 50 mln euro.

Bij het W+-scenario is het kostenverschil uiteraard – per definitie – identiek aan het eerder berekende kostenverschil, alhoewel de nieuwbouw van de spuisluizen in 2050 ook hier achterwege gelaten zouden kunnen worden.

De waarde voor grotere flexibiliteit van Basisalternatief ten opzichte van 2100-Robuust is – afhankelijk van de feitelijke toekomstige ontwikkelingen of, beter geformuleerd, de waarschijnlijkheid van de verschillende scenario's – tussen de 0 en 80 mln euro. De waarde van flexibiliteit wordt dus bepaald door een interval. Het interval wordt bepaald door het minimum en het maximum van drie genoemde waarden. Voor de overige kernen geldt een soortgelijke redenering.

Tabel E.3 Aanleg- en onderhoudskosten en energiegebruik/opwekking bij basisscenario 'W+'*

	21R	Ba	MiB	WW	NA	WMm
Dijklichaam	440	350	360	440	430	360
Schutsluizen	200	120	200	200	200	200
Spuisluizen	690	610	690	690	530	230
Energie-elementen	0	0	0	0	1.730	710
Natuur	0	0	0	0	550	690 + ?
Pompgemalen	300	300	300	300	210	70
Mitigatie	0	0	0	?	0	0
Energie	10	10	10	10	-980	10
Totaal (excl. '?')	1.640	1.390	1.560	1.630	2.670	2.260
verschil t.o.v. 21R bij W+	ref	250	80	10	-1030	-610
Minderkosten bij 'laag'	280	360	280	280	200	110
Meerkosten bij 'hoog'	-20	50	-20	-20	-20	-50
Verschillen van 'verschillen'						
- meer minderkosten bij 'laag'	ref	80	0	0	-80	-160
- minder meerkosten bij 'hoog'	ref	70	0	0	0	-30
Baten flexibiliteit	ref	0 à 80	0	0	-80 à 0	-160 à 0
*Contante waarde, marktprijzen, mln euro's.						
Bedragen in veelvoud van 10 mln. Door afronding kunnen er kleine verschillen ontstaan t.o.v. eerder genoemde bedragen. Hierdoor kunnen de totalen ook afwijken van de som der delen.						
? = niet bekend.						

De waarde van flexibiliteit wordt weergegeven als een bandbreedte. Indien de kansverdeling van alle scenario's bekend zou zijn, dan is het mogelijk om de verwachte waarde uit te rekenen. Omdat die kansverdeling niet beschikbaar is, bepalen we alleen de minimale en maximale waarden. De *verwachte* waarde zal, onder plausible aannamen over de waarde van flexibiliteit bij andere dan de drie beschouwde scenario's, tussen beide liggen en dus *ergens* in het berekende interval. Het valt op dit moment niet vast te stellen *waar* de verwachte waarde van flexibiliteit exact ligt binnen dit interval.

Plausibele aannamen waaronder de verwachte waarde in het berekende interval valt, zijn:

- De kans dat de zeespiegelstijging lager uitpakt dan bij scenario 'laag' is zo klein dat de verwachte waarde hiervan te verwaarlozen is. Hetzelfde geldt voor de kans dat de zeespiegel hoger wordt dan scenario 'hoog'. Kortom: scenario's 'laag' en 'hoog' moeten adequaat de gehele bandbreedte waarop de zeespiegelstijging kan variëren tot 2100 in kaart brengen.
- De aanpassingen die nodig zijn aan de kernen zijn direct te koppelen aan de zeespiegelstijging en hebben een 'continu' karakter. Kostenverschillen tussen kernen nemen monotoon toe of af bij een lagere zeespiegelstijging, idem voor hogere zeespiegelstijging.

Bijlage F Zoutoverslag

Door Regeling (2010b) is de hoeveelheid (zout) water bepaald die vanuit de Waddenzee in het IJsselmeer terecht kan komen bij extreme omstandigheden. Deze omstandigheden kunnen optreden met een kans van 1/10.000 per jaar (storm bij maatgevende omstandigheden).

Er bestaan verschillende methoden voor het meten en berekenen van het zoutgehalte. Daarnaast bestaan er verschillende definities van de begrippen zoet, brak en zout op basis van dit zoutgehalte. Eén methode berust op het bepalen van het chloridengehalte. Het zoutgehalte wordt uitgedrukt in promille, wat bij benadering overeenkomt met het aantal grammen aan Cl^- -ionen per liter water. Voor het omrekenen van chloridengehalte (in gram/l) naar het zoutgehalte (in fractie van het gewicht) wordt een vaste factor van 1,80655 gehanteerd.⁷⁷

Tabel F.1 Typering van water op basis zoutgehalte

Typering water	Saliniteitsklasse in ‰ van gewicht
Zoet	< 0,5
Zwak brak	0,5 - 5
Brak	0,5 - 18
Sterk brak	18 - 30
Zout	> 30
Bron: McLusky, D.S. 1993, Marine and estuarine gradients: an overview. Netherlands Journal of Aquatic Ecology (2-4), pp. 489-493.	

In de Noordzee is het zoutgehalte ongeveer 35 ‰. Het gemiddelde zoutgehalte in de zuidelijke Waddenzee bedraagt ongeveer 25 ‰. Dit komt overeen met een chloridengehalte (Cl^-) van 13,5 gram/liter (Regeling 2010b).

In Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (2006) worden ondermeer de water- en de chloriden balansen over het jaar 2004 gerapporteerd. De totale hoeveelheid water die het IJsselmeer instroomde in 2004, bedroeg 17.223 miljard m^3 . De hoeveelheid chloridenionen van dit water bedroeg 1.923.421 ton. Het gemiddelde chloridengehalte komt daarmee op 0,1 gram/liter en het gemiddelde zoutgehalte op ongeveer 0,2 ‰. Als dit het gemiddelde IJsselmeerwater representeert, dan valt dit dus binnen de bovenstaande definitie van zoet water.

Voor de overslagbestendige dijken wordt uitgegaan van een maximaal overslagdebiet van 125 liter per meter per seconde ($\text{l}/(\text{ms})$). Dit debiet treedt op met een kans van 1/10.000 per jaar (maatgevende storm) en legt meteen het jaartal vast waarop – onder het W+-scenario – aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn. Voor Basisalternatief is dit 2050 en voor WaterMachine 2065. Bij grotere overslagdebieten (en daarmee kleinere kansen dan 1/10.000) wordt verondersteld dat de dijk faalt, zie voor de analyse van de effecten daarvan paragraaf 6.4. Uitgaande van een representatieve periode van 6 uur waarop deze ‘piekoverslag’ optreedt, komt over een volledige lengte van de Afsluitdijk (30 km) een totaal watervolume van 81 mln m^3 van de Waddenzee in het IJsselmeer terecht (Regeling, 2010b). Dit leidt tot een gemiddelde peilstijging op het IJsselmeer van 7 cm. Waddenzeewater heeft een chloridengehalte van 13,5 gram/liter. Overslagvolumes bij niet-maatgevende stormen (met een grotere kans en minder overslagvolume) konden niet worden achterhaald uit de beschikbare informatie.

⁷⁷ De tekst in deze bijlage is gecontroleerd door Rijkswaterstaat. Genoemde factor is afkomstig uit: UNESCO, 1966, UNESCO technical papers in marine science. No. 4 - Second report of the joint panel on oceanographic tables and standards, pp. 9, Paris.

Bijlage G Overwegingen bij formuleren werkhypothese

Een belangrijk kenmerk van een KostenEffectiviteitsAnalyse (KEA), zoals de KEA Afsluitdijk, is dat de projectalternatieven *niet* worden vergeleken met de situatie waarin geen van de projectalternatieven wordt uitgevoerd, zoals in een kosten-batenanalyse (KBA) gebruikelijk is. De projectalternatieven worden alleen *onderling* vergeleken. Dit houdt in dat de gestelde minimale eisen als een gegeven worden beschouwd. Vanwege deze onderlinge vergelijking van projectalternatieven spreken we van een KEA.

Om een adequate onderlinge vergelijking van de projectalternatieven te maken, mogen uitsluitend die effecten die in alle alternatieven dezelfde zijn, zonder expliciete waardering tegen elkaar weggestreept worden. Alle effecten die niet in alle alternatieven hetzelfde zijn, moeten expliciet gewaardeerd worden. Het gelijke gedeelte van de alternatieven omvat, zoals in Rijkswaterstaat (2010, p.50) – kort – wordt gesteld: ‘Alle alternatieven moeten ervoor zorgen dat de Afsluitdijk inclusief de kunstwerken weer tot het jaar 2100 kunnen functioneren.’ Hiertoe zijn er zeven kernen gedefinieerd, die weer zijn afgeleid van zes eerder ontwikkelde visies. Als definitie van een kern is gehanteerd: ‘alle onderdelen van de visie met de oplossing voor veiligheid en waterbeheer en behoud van de huidige functionaliteiten plus de onderdelen die daar onlosmakelijk mee verbonden zijn’.

Tijdens de werkzaamheden in het kader van de KEA Afsluitdijk bleek dat geen van de te onderzoeken kernen (volledig) voldeed aan de tot het jaar 2100 gestelde minimale eisen indien de zeespiegel zich ontwikkelt zoals in het gehanteerde W+-klimaatscenario. De benodigde mogelijkheden voor het afvoeren van overtollig IJsselmeerwater zijn op termijn onvoldoende. Hoewel alle kernen onvoldoende mogelijkheden voor waterbeheer bieden tot het jaar 2100, verschillen de kernen wel aanzienlijk in de mate waarin. Dit betekent dat deze verschillen op de een of andere manier in de KEA moeten worden gewaardeerd. Dit werd bemoeilijkt omdat er aanvankelijk onduidelijkheid was over het veronderstelde IJsselmeerpeil in de kernen tot 2050 en voor de periode daarna alle opties werden opengelaten om de groeiende waterafvoerproblematiek op te lossen: nog meer spuicapaciteit, pompen of stijging van het IJsselmeerpeil of combinaties daarvan. Dit nu open laten is beleidsmatig verstandig want er is geen enkele zekerheid over de echte ontwikkeling van de zeespiegel of de rivierafvoer. Maar voor de KEA geeft dit een probleem omdat de afvoer capaciteit van de kernen niet gelijk is.

Inmiddels was in de Plan-MER een keuze gemaakt over het IJsselmeerpeil. Voor alle kernen was uitgegaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil (zonder overigens expliciet in te gaan op het feit dat de benodigde waterafvoer capaciteit dan fors dient toe te nemen in de tijd). Vier van de zes kernen (2100-Robuust, Basisalternatief, Monument in Balans en WaddenWerken) maken voor het handhaven van dit peil alleen gebruik van de mogelijkheid tot spuien van IJsselmeerwater. Door stijging van de zeespiegel (in het W+-scenario) biedt deze oplossing vanaf 2030 à 2035 onvoldoende soelaas. De twee andere kernen (Natuurlijk Afsluitdijk en WaterMachine) gebruiken de mogelijkheden van het pompen van IJsselmeerwater naar de Waddenzee en bieden tevens de mogelijkheid tot spuien. De pompcapaciteiten van deze kernen zijn respectievelijk 400 m³/s en 900 m³/s. Weliswaar kunnen deze twee kernen dus ‘langer mee’, maar bij het gehanteerde W+-scenario zijn ook deze pompcapaciteiten waarschijnlijk onvoldoende om tot en met het jaar 2100 de waterbeheerfunctie adequaat te kunnen vervullen.

Om de kernen aan de gestelde eisen voor waterbeheer te laten voldoen zijn er binnen het W+-klimaatscenario aanvullende maatregelen noodzakelijk. Bij een stijgende zeespiegel zijn daarvoor op de lange termijn twee mogelijkheden: (i) blijven spuien (onder vrij verval) én het IJsselmeerpeil verhogen of (ii) kiezen voor een gelijkblijvend IJsselmeerpeil, maar dan ontstaat de noodzaak om het water te pompen naar de Waddenzee. Uiteraard zijn combinaties van beide mogelijk, zeker in de eerstkomende jaren, zodat, zoals eerder al gezegd, nu nog meerdere alternatieven mogelijk zijn. Zo kan het uitbreiden van de spuicapaciteit op de kortere termijn een oplossing verschaffen zonder het IJsselmeerpeil te hoeven verhogen. De afweging tussen de genoemde mogelijkheden vindt niet plaats in het kader van het project Toekomst Afsluitdijk, maar in het kader van het Deltaprogramma IJsselmeergebied.

Aangezien de KEA Afsluitdijk een tijdshorizon tot 2100 heeft, waarin wordt verondersteld dat alle kernen tot 2100 voldoen aan de gestelde kaders, maar vooral ook omdat de kernen op het punt van de waterafvoercapaciteit verschillen, is het voor de KEA noodzakelijk om een werkhypothese te formuleren ten aanzien van een rond 2035 te nemen aanvullende maatregel. Zoals in Hoofdstuk 3 aangegeven ligt het dan voor de hand om aanvullende maatregelen te kiezen die overzichtelijke effecten hebben, niet extreem duur zijn en zo goed mogelijk aansluiten bij de reeds uitgevoerde onderzoeken die als input dienen voor de KEA, zoals het PlanMER, de Risicobeoordeling Natura 2000, de kosteninschattingen door RWS en de KBA's van componenten (door Decisio).

Het verhogen van het IJsselmeerpeil vanaf 2035 voldoet niet aan deze criteria. Een peilverhoging heeft grote gevolgen⁷⁸ en zal waarschijnlijk grote investeringen vereisen. Zo vermindert de veiligheid van de rond het IJsselmeer liggende gebieden, waardoor waarschijnlijk dijken en kunstwerken moeten worden verhoogd. Ook zal de wateruitwisseling tussen het IJsselmeer en naastgelegen polders moeten worden aangepast, waardoor bij het 'uitslaan' van polderwater dit water verder omhoog moet worden gepompt. Kortom: een omvangrijk onderzoeksgebied dat een deel van het nader te onderzoeken Deltaprogramma omvat. Het hanteren van 'verhogen IJsselmeerpeil' als werkhypothese voldoet dus niet aan bovengenoemde criteria en dan met name niet aan 'overzichtelijke effecten'. Daarnaast was het binnen enkele weken onmogelijk om een adequate inschatting te maken van de kosten van het verhogen van het IJsselmeer: de kosten lijken ook vrijwel zeker niet als 'beperkt' te kunnen worden getypeerd.

Daarnaast waren de effecten op onder andere natuur, landschap en cultuurhistorie (in het PlanMER en de Risicobeoordeling Natura 2000) en de kosten van de verschillende kernen gebaseerd op een gelijkblijvend IJsselmeerpeil (Rijkswaterstaat, 2010). Deze informatie zou dus niet meer bruikbaar zijn of – in sommige gevallen zeer fors – aangepast moeten worden.

Daarom heeft het CPB ervoor gekozen om als *werkhypothese voor de KEA Afsluitdijk* uit te gaan van een gelijkblijvend IJsselmeerpeil in combinatie met pompen als aanvullende maatregel. De voordelen van de werkhypothese 'gelijkblijvend IJsselmeerpeil tot 2100 met aanvullend pompen' is dat de effecten van pompen overzichtelijk zijn, de kosten weliswaar substantieel zijn, maar niet onoverkomelijk en de effecten vanuit het PlanMER, Risicobeoordeling Natura 2000 en de KBA's van de componenten bruikbaar blijven.

Het besluit over pompen dan wel spuien (inclusief het op den duur verhogen van het IJsselmeerpeil) wordt voorbereid in het kader van het Deltaprogramma IJsselmeergebied (Ministerie van Verkeer en Waterstaat et al., 2010). Het voornemen is dat eind 2015 het kabinet een besluit neemt. Verwacht mag dus worden dat bovenstaande onderzoeksvragen de komende jaren nader worden onderzocht en dat er eind 2015 helderheid komt over de gekozen wijze van het afvoeren van overtollig IJsselmeerwater op de lange termijn. Deze KEA Afsluitdijk biedt wel relevante bouwstenen voor het uiteindelijke besluit. Zie daarvoor vooral hoofdstuk 8.

⁷⁸ Peilverhoging met 25 cm is in de Risicobeoordeling Natura 2000 (Grontmij, 2010d) behandeld als een component. De kans op significant negatieve natuureffecten van deze peilverhoging en dus de kans dat men géén vergunning daarvoor krijgt in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 wordt 'relevant' tot 'hoog' geschat.

Bijlage H Berekeningen baten (over)veiligheid

H.1 Overzicht van beschouwde schades en faalmechanismen

Tabel 6.5 uit paragraaf 6.4 geeft vier gevolgen van het falen van Afsluitdijk die schade veroorzaken. In de genoemde paragraaf zijn ze kort besproken. Deze vier gevolgen worden onderstaand uitgebreider besproken.

Schade Afsluitdijk: bres, vaar- en wegverbinding

Dit betreft de schade die ontstaat indien er (alleen) een bres in de Afsluitdijk ontstaat. De belangrijkste kostenpost betreft het repareren van de Afsluitdijk (inclusief eventuele kunstwerken) zelf. Het CPB heeft in overleg met Deltares en het projectteam Toekomst Afsluitdijk aangenomen dat reparatie van de Afsluitdijk 700 mln euro kost. Het repareren van een bres in de Afsluitdijk duurt ongeveer een half jaar en daarom de rest van het winterseizoen (d.w.z. het stormseizoen). De bres in de Afsluitdijk zal pas in de zomer worden gedicht. Personenauto's, vrachtauto's, openbaar vervoer, beroepsvaart en recreatievaart kunnen daardoor gedurende een half jaar de Afsluitdijk niet 'passeren' en moeten dan dus omrijden of omvaren. De bijbehorende schadebedragen staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel H.1 Schadebedragen in 2050 door een bres in de Afsluitdijk

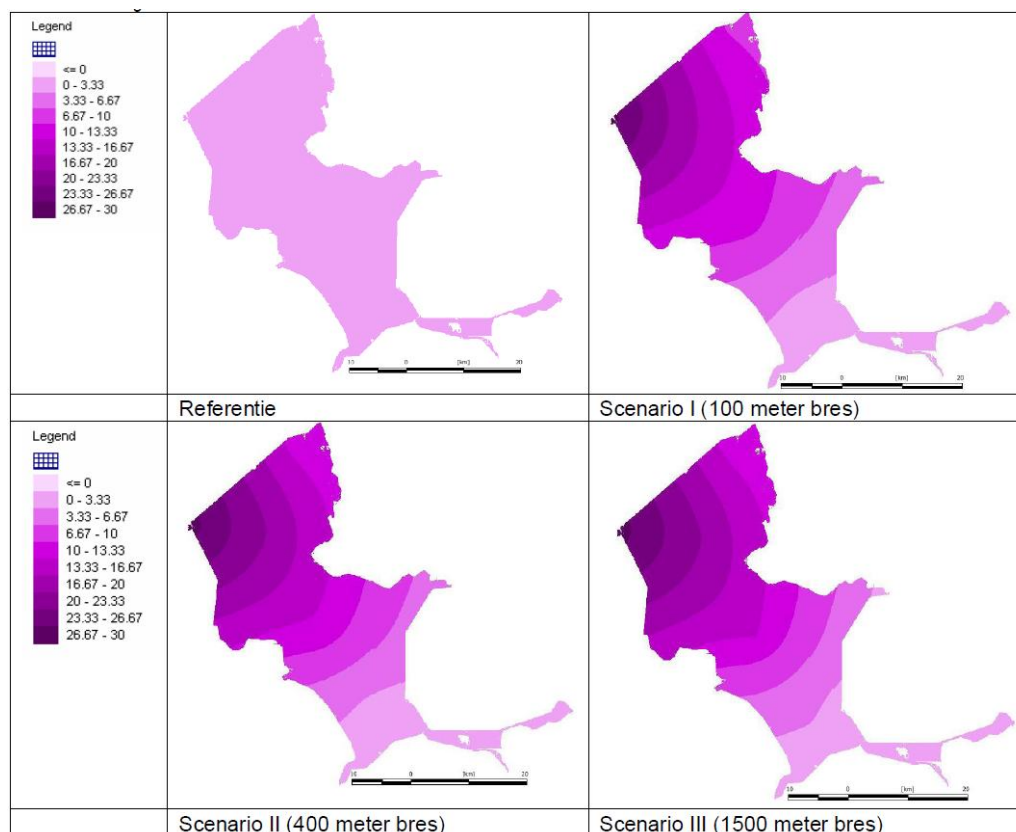
	Nominaal	Contante waarde in 2015
	mln euro, pp 2009, incl. btw, voor het jaar 2050 (a)	
Reparatie Afsluitdijk en kunstwerken	700	140
Omrijden/vraaguitval personenauto's	60	10
Omrijden/vraaguitval vrachtwagens	20	4
Omrijden/vraaguitval openbaar vervoer	8	2
Omvaren/vraaguitval beroepsvaart	4	1
Omvaren/vraaguitval recreatievaart	2	0
Totaal	790	160

(a) Bedragen afgerond op 'ronde bedragen'.

Niet alle schadebedragen die samenhangen met (sec) het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk, konden worden gemonetariseerd. Het betreft de volgende schades. Allereerst de kosten die moeten worden gemaakt om die delen van Nederland die zoet water betrekken uit het IJsselmeer, op een alternatieve manier van genoeg zoet water te voorzien. Ook de economische schade die ontstaat aan 'buitendijkse' gebieden in het IJsselmeer, is niet bekend. Hierbij dient gedacht te worden aan buitendijkse (recreatie)woningen, buitendijkse bedrijventerreinen, kades, jachthavens, buitendijkse weilanden en visteelt. De buitendijkse schadebedragen bleken niet voorhanden te zijn in het project Waterveiligheid 21ste eeuw (Kind, 2010) en konden in de beschikbare onderzoekstijd niet worden achterhaald.

Daarnaast is de schade aan natuur en landschap door de (tijdelijke) bres niet gemonetariseerd. Uit analyse van Deltares (Beckers et al., 2010) blijkt een bres in de Afsluitdijk te leiden tot een forse toename van de zoutgradiënt in het IJsselmeer (zie Figuur H.1). Door de typische zoetwaternatuur in het IJsselmeer en de langdurige blootstelling aan zouter water zorgt een doorbraak van de Afsluitdijk voor effecten op bijna de gehele natuur in het IJsselmeer. Ook in de bredere omgeving zal het effect van een bres in de Afsluitdijk merkbaar zijn, omdat vogels uitwijken naar elders (denk aan de Veluwerandmeren en akkers) om eten te zoeken. Een gemonetariseerde waarde van de effecten op de natuur kan niet worden gegeven van deze tijdelijke terugkeer van de 'Zuiderzee' en betreffen dus een ?-post. Bij het meewegen van de maatschappelijke impact op de natuur moet in ogenschouw worden genomen dat de storm waardoor er een bres kan ontstaan in Afsluitdijk bij de maximale faalkans van 1 op de 10.000, óók elders in Nederland forse schade zal aanrichten. Eén of meer dijkkringen gelegen aan het IJsselmeer falen dan waarschijnlijk ook, waardoor er overstromingen ontstaan. Een gedetailleerde beschrijving van de effecten van zouter IJsselmeerwater voor enkele representatieve flora- en faunasoorten kan worden gevonden in Beckers et al. (2010). Uit deze analyse (zie ook Figuur H.1) blijkt dat het effect op de natuur in geringe mate afhangt van de grootte van de bres.

Figuur H.1 Zoutindringing (zoutgradiënt) door een bres in de Afsluitdijk



Bron: Beckers et al, 2010 (p. 62).

Uitleg: Referentie betreft de situatie waarbij de Afsluitdijk intact is. De – arbitrair gekozen – breslocatie is ter hoogte van Den Oever. De zoutconcentratie (in ‰ van het gewicht) na zes maanden op basis van berekeningen door Deltares met het model 'Delft3D'. De zoutindringing is nauwelijks afhankelijk van de breedte van de bres.

Daarnaast zijn ook de effecten van bodemdaling niet meegenomen in de berekeningen. Omdat de bodemdaling niet verschilt tussen de kernen onderling, zal dit voor de onderlinge vergelijking waarschijnlijk amper invloed hebben op de resultaten. Voor de absolute verwachte schade maakt het mogelijk wel significant uit: op sommige plekken langs het IJsselmeer en het Markermeer wordt in de periode tot 2050 een bodemdaling verwacht van meer dan een halve meter (zie onderstaande paragraaf H.5).

P1: faalkans a-keringen bij goed functionerende Afsluitdijk

De faalkans P1 representeert de situatie dat de betreffende a-kering faalt bij een veronderstelde⁷⁹ goed werkende Afsluitdijk. Uit deze veronderstelling volgt dat faalkans P1 – per definitie – onafhankelijk is van de faalkans van de Afsluitdijk en daarom niet verschilt tussen de kernen, zie Tabel 6.5. Uit deze tabel kan ook worden opgemaakt dat de verwachte schadebedragen die corresponderen met P1, beduidend hoger zijn dan de schadebedragen die betrekking hebben op de andere faalkansen P2 en P3.

⁷⁹ Deze veronderstelling is het gevolg van de veel gebruikte aanname dat faalkansen van een dijk(ring)en niet worden beïnvloedt door faalkansen van andere dijken. Dit is een gebruikelijke aanname bij het bepalen van de optimale veiligheidsnorm (Eijgenraam 2005; Kind, 2010). Hoewel deze aanname in deze KEA Afsluitdijk niet wordt gemaakt (zie onderstaande kansen P2 en P3), zijn vele hydraulische gegevens over faalkansen wel gebaseerd op deze veronderstelling. Omdat we gebruik maken van deze gegevens wordt ook in dit rapport gebruik gemaakt van deze faalkansen 'P1'.

De bedragen uit deze tabel zijn gebaseerd op de aanname dat faalkans P1 gedurende de periode 2020-2100 gelijk is aan de huidige wettelijke veiligheidsnorm. Er is dus impliciet verondersteld dat alle dijken aan het IJsselmeer en Markermeer een hoogte hebben die hoort bij deze norm. Daarnaast is verondersteld dat de helling van het buitentalud 1 op 4 bedraagt. Deze aannamen⁸⁰ zijn ook gemaakt bij het bepalen van de faalkansen P2 en P3.

De veronderstelde dijkhoogten (en hellingen) komen niet overeen met de huidige situatie. Een meer realistische voorstelling van zaken leidt tot andere faalkansen P1, P2 en P3. Echter, omdat in deze KEA Afsluitdijk alleen naar *onderlinge* verschillen tussen de kernen wordt gekeken, wordt bij gebruik van de aannames toch een representatief beeld verkregen van de baten van onderlinge verschillen in (over)veiligheid. De genoemde aannames staan namelijk voor een groot deel los van de vraag welke veiligheid de Afsluitdijk moet bieden. In het project KBA Norm Afsluitdijk waar de absolute hoogte van dijken en veiligheidsnormen primair het onderwerp zijn van het onderzoek, wordt de geldigheid van de genoemde aannames nader beschouwd.

De faalkansen P1 en de bijbehorende schadebedragen van beschouwde dijkkringdelen staan weergegeven in Tabel H.2. Bij de berekening van de verwachte schade (= faalkans × schade) is verondersteld dat de dijkkringdelen onafhankelijk van elkaar kunnen worden beschouwd. Dit lijkt voor de dijkkringen gelegen aan het IJsselmeer en het Markermeer een realistische aanname.⁸¹

In de schadebedragen bij het falen van dijkkringen aan het Markermeer/IJmeer is geen schadebedrag opgenomen voor eventuele schade die kan ontstaan door het overstromen van delen van dijkkring 14, waaronder gedeeltes van Amsterdam. De kans en de schade als gevolg van overstromingen vanuit het Markermeer/IJmeer zijn niet bekend. Uit overleg met Deltares bleek dat deze schade wél kan optreden. Omdat de schade bij het overstromen van Amsterdam waarschijnlijk zeer groot zal zijn, verdient dit aspect nader onderzoek, ook indien de faalkans zeer klein zou zijn. De Afsluitdijk is overigens in het verleden mede aangelegd om Amsterdam te beschermen tegen overstromingen. Ook enkele andere dijkkringen⁸² zijn niet in de berekeningen meegenomen, omdat de benodigde gegevens ontbraken. In de KBA Norm Afsluitdijk wordt ernaar gestreefd wel alle dijkkringen in de analyse mee te nemen.

⁸⁰ De genoemde aannames zijn mede het gevolg van het feit dat gebruik is gemaakt van voorhanden berekeningen die in het kader van het project Waterveiligheid 21ste eeuw (Kind, 2010) zijn uitgevoerd.

⁸¹ Afhankelijkheid tussen dijkkringen wordt wel aangeduid met 'systeemwerking'. Dit behelst bijvoorbeeld dat als een dijkkring faalt en 'volloopt', ook een andere dijkkring gevaar loopt (negatieve systeemwerking). Ook kan het falen van ene dijkkring ervoor zorgen dat andere dijkkringen juist minder gevaar oplopen (positieve systeemwerking). Beide situaties lijken mede op basis van informatie van Deltares niet relevant voor dijkkringen aan het IJsselmeer/Markermeer. In de KBA Norm Afsluitdijk wordt het aspect van systeemwerking nader onderzocht.

⁸² IJburg, IJsseldelta, Marken, Mastenbroek, Oranjesluizen, de Ramspolkering en de Roggebotsluis.

Tabel H.2 Schadebedragen en faalkans P1 voor beschouwde gebieden

Naam	Dijkkringdelen	P1: Normfrequentie	Schade bij falen in 2050
	codes uit Figuur H.2	1/faalkans	miljard euro
Friesland - Groningen - IJsselmeergebied	6-4	4.000	1
Noordoostpolder	7-1	4.000	15
Flevoland - Noordoost	8-1	4.000	40
Wieringen	12-1	4.000	8
Noord-Holland - West-Friesland	13-2	10.000	30
Gebieden grenzend aan het Markermeer e.d.	8-1, 8-2, 13-2, 13-4, 44-2, 45-2	10.000 (a)	200
Totaal			295

Bron: Verkregen vanuit project 'Waterveiligheid 21ste eeuw' van Deltares, gegevens uit november 2010. Schade bij falen betreft de verwachte schade bij verschillende oorzaken van falen. Dit kan worden opgevat als een 'gewogen gemiddelde' van alle (grote en kleine) soorten van falen van de betreffende a-kering. Bedragen zijn nominaal, in marktprijzen (prijsspeel 2009) en zijn afgerond op 'ronde getallen'.
(a) Dit betreft de normfrequentie van de Houtribdijk en dijkkringdelen 8-1, 8-2, 13-2 en 13-4. Dijkkringdelen 44-2 en 45-2 hebben een normfrequentie van 1 op de 1.250.

Figuur H.2 Beschouwde dijkkringdelen (zie ook Tabel H.2)



Bron: Deltares.

De faalkansen P2 en P3 van a-keringen hebben betrekking op omstandigheden waarbij falen van de a-keringen optreedt als gevolg van het falen van de Afsluitdijk. Sommige extreme weersomstandigheden veroorzaken het falen van één of meerdere a-keringen ongeacht het feit of de Afsluitdijk nu wel of niet zou hebben gefaald. Om dubbeltellingen te vermijden betreffende de faalkansen P2 en P3 dan ook *additionele* faalkansen bovenop de faalkans P1. De totale faalkans van een a-kering betreft dus de som van drie kansen: P1, P2 en P3.

P2: extra faalkans a-keringen tijdens zelfde storm

Faalkans P2 betreft de extra faalkans (d.w.z. additioneel t.o.v. P1) van een a-kering als gevolg van het falen van de Afsluitdijk tijdens dezelfde storm. Uit analyse van Deltares (Beckers et al, 2010) blijkt P2 vooral van belang indien de faalkans van de Afsluitdijk hoger is dan de faalkans van de achterliggende a-keringen. In de KEA Afsluitdijk hebben echter alle kernen in alle jaren maximaal een faalkans van 1 op de 10.000. De faalkans van de Afsluitdijk is dus in alle onderzochte gevallen gelijk aan of (veel) kleiner dan de norm van de faalkans van de a-keringen. De faalkans P2 bij zeer kleine faalkansen van de Afsluitdijk (1 op de 10.000 of kleiner) blijkt moeilijk te bepalen vanwege een technische beperking van het gebruikte model Hydra-VIJ. De kans per windrichting wordt dan zo klein dat dit buiten de database van dit model valt.

Faalkans P2 is desondanks gebaseerd op probabilistische berekeningen van Deltares met het model Hydra-VIJ. De berekeningen geven aan dat P2 echt nul is indien de Afsluitdijk een faalkans heeft van maximaal 1 op de 20.000 en de achterliggende a-keringen een faalkans hebben van minimaal 1 op de 10.000. Indien zowel de Afsluitdijk als de a-kering een faalkans heeft van 1 op de 10.000 is de hoogte van P2 locatieafhankelijk. De maximale waarde bedraagt op sommige locaties 1 op de 20.000 (locaties op de Houtribdijk). Op andere plekken is die 1 op de 100.000 (nabij Andijk in Noord-Holland). Op de andere plekken is die – volgens de uitgevoerde berekeningen – altijd echt nul. Locatieafhankelijke waarden voor P2 bij een faalkans van de Afsluitdijk tussen 1/20.000 en 1/100.000 zijn bepaald via interpolatie.

Verder is verondersteld dat de faalkans P2 voor de Houtribdijk zich één-op-één vertaalt in een additionele kans op het falen van de dijkkringen gelegen aan het Markermeer. Anders geformuleerd: de voorwaardelijke kans dat de a-keringen gelegen aan het Markermeer alsnog falen doordat eerst de Afsluitdijk en daardoor ook de Houtribdijk faalt tijdens dezelfde storm wordt '1' verondersteld. Dit is overduidelijk een overschatting. Ondanks deze 'overschatting' zijn de bijbehorende verwachte schadebedragen in contante waarde beperkt. Dit komt omdat de faalkans van de Houtribdijk wel zo goed als mogelijk is bepaald en deze kans voor de beschouwde kernen zeer klein is. Voor P3 is een soortgelijke aanname gemaakt ten aanzien van het falen van de Houtribdijk in relatie tot het falen van de a-keringen gelegen aan het Markermeer.

In relatieve zin zijn de verwachte schades rond het Markermeer wel van belang. De weergegeven bedragen voor P2 en P3 in Tabel 6.5 zijn voor ruim de helft het gevolg van schades rond het Markermeer. Nader onderzoek naar de afhankelijkheid van het falen van de Houtribdijk en de dijkkringen aan het Markermeer (maar dan wel inclusief het overstromingsrisico van Amsterdam in dijkkring 14, zie boven) is op zijn plaats.

P3: extra faalkans (evt. nogmaals falen) a-keringen tijdens 'vervolg'-storm

Het falen van de Afsluitdijk heeft tot gevolg dat er de rest van het winterseizoen een open verbinding is tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Dit zorgt voor een hoger IJsselmeerpeil (mogelijk dan beter aangeduid met 'Zuiderzeepeil') en voor (beperkte) getijwerking. Daarbij stijgt de zeespiegel conform het W+-scenario met +85 cm in 2100 dat zich vertaalt in een (nog hoger) IJsselmeerpeil. Gedurende de rest van het winterseizoen is er dus sprake van een duidelijk verhoogde faalkans van de a-keringen rond het IJsselmeer.

Bij het bepalen van deze additionele faalkans P3 moet mogelijk rekening worden gehouden met de afhankelijkheid tussen het falen van de Afsluitdijk enerzijds en de a-keringen anderzijds. Sommige a-keringen (dijkkringen) zullen namelijk vrijwel zeker falen indien de Afsluitdijk faalt (vanwege faalkans P1 of P2). Andere a-keringen zullen, afhankelijk van de precieze fatale windrichting voor de Afsluitdijk, wel of niet falen tijdens deze storm. Weer andere a-keringen zullen nooit falen tijdens een storm waaronder de Afsluitdijk faalt.

De dijkringen die falen, worden waarschijnlijk zo snel als mogelijk gerepareerd en kunnen daarom nogmaals falen (eventueel op een andere locatie). Mogelijk is de schade dan beperkter, maar dit is niet bekend. Enerzijds is er tijdens de eerste overstroming al veel schade aangericht, waardoor een tweede overstroming relatief minder additionele schade oplevert. Anderzijds kan een tweede doorbraak 'juist teveel' zijn waardoor er juist additionele schade ontstaat. Vanwege het op dit moment ontbreken van adequate informatie hierover is in overleg met Deltares besloten om ook bij een tweede doorbraak in één jaar dezelfde schadebedragen te hanteren.

De berekening van faalkans P₃ kan worden ontleed in de volgende vier factoren. Vermenigvuldiging van deze drie factoren geeft faalkans P₃:

- Factor 1: de faalkans van de Afsluitdijk tijdens een winterseizoen (bijv. 1:10.000).
- Factor 2: een (pragmatische) weging met $\frac{1}{2}$. Dit is het gevolg van het feit dat een bres pas de eerstvolgende zomer kan worden gerepareerd. De bres kan echter zowel aan het begin van de winter als aan het eind van de winter optreden. Vanwege 'geheugenloosheid of onafhankelijkheid van het weer na een bepaalde periode',⁸³ is er dus gemiddelde sprake van een halve winter met een verhoogd risico.
- Factor 3: de kans dat de a-kering faalt in één winterseizoen, gegeven een bres van 400 meter in de Afsluitdijk. Deze kans is berekend door Deltares met behulp van het model Hydra-VIJ (zie onderstaande paragraaf H.2) voor het jaar 2010. De kansen voor de toekomstige jaren zijn afgeleid met behulp van onderstaande rekenregels.

Factor 3 is locatiespecifiek en is bepaald voor de in Figuur H.3 weergegeven locaties. Hierbij is ervan uitgegaan dat de a-keringen (dijken) op al deze locaties in het jaar 2010 een hoogte hebben die behoort bij de normfrequentie P₁ zoals weergegeven in Tabel H.2. Deze dijkhoogte is bepaald bij de spuicapaciteit die behoort bij de huidige spuisluizen Den Oever en Kornwerderzand plus de realisatie van ESA. Daarbij is rekening gehouden met fluctuaties in het IJsselmeerpeil op basis van metingen in de periode 1951-1998 als gevolg van (toevallige) weersomstandigheden, zeespiegelniveau en rivierafvoeren conform het klimaat anno 2010. De aldus bepaalde dijkhoogte voor het jaar 2010 (gegeven een buitentalud van 1:4) is constant gehouden gedurende de gehele periode tot en met 2100. Last but not least, is rekening gehouden met een geleidelijke stijging van de zeespiegel met +85 cm in 2100 conform het W+-scenario. Deze zeespiegelstijging zorgt voor een evenredige stijging van het gemiddelde 'Zuiderzeepil' (dus na het ontstaan van een bres). Ook is rekening gehouden met extra golfoploop⁸⁴ als gevolg van deze peilstijging. Er is geen rekening gehouden met bodemdaling.

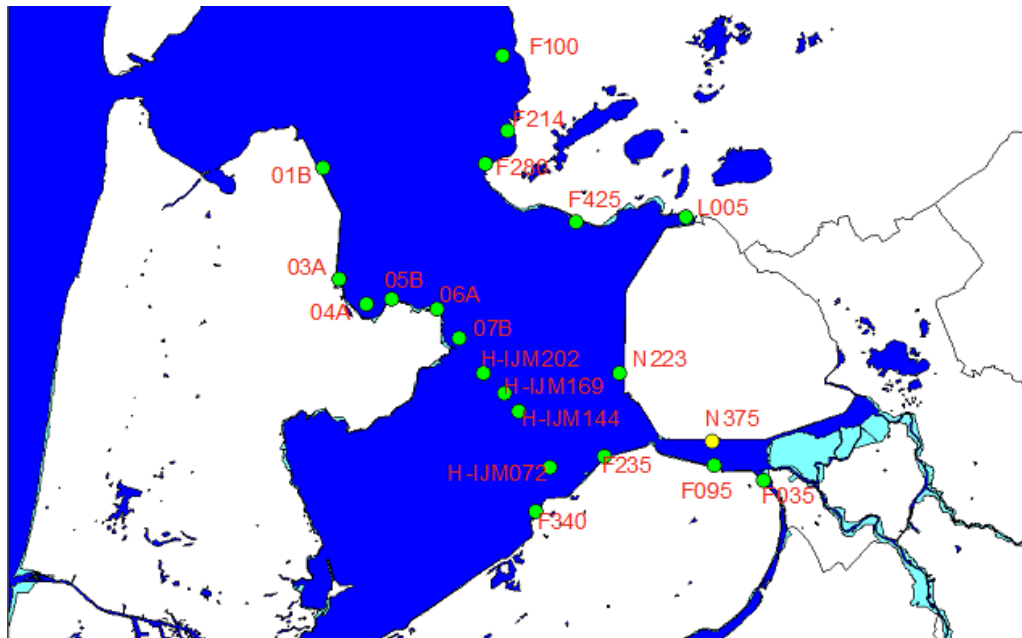
Door de drie genoemde factoren te vermenigvuldigen is voor elk jaar, voor elke beschouwde locatie en voor elke beschouwde kern in de periode 2020 tot en met 2100 de faalkans P₃ berekend. Vervolgens is gekeken welke locaties betrekking hebben op eenzelfde dijkkring. Per dijkkringdeel is per jaar de maximale faalkans P₃ bepaald.⁸⁵ Dit maximum representeert uiteindelijk de faalkans P₃ voor dit dijkkringdeel.

⁸³Hoewel het weer enkele dagen vooruit redelijk goed voorspeld kan worden, blijkt uit informatie van Deltares dat het optreden van extreme weeromstandigheden niet (ruim van tevoren) voorspeld kan worden. Vandaar de term 'geheugenloosheid of onafhankelijkheid van het weer na een bepaalde periode'. De wegingsfactor van $\frac{1}{2}$ is een pragmatische benadering. Bij zeer hoge faalkansen, met name kans \approx '1', zal de weging met een factor $\frac{1}{2}$ leiden tot onderschatting van de faalkans, omdat het dan (vrijwel) zeker is dat het betreffende dijkkringdeel ook in een halve winter faalt. Zie paragraaf H.4 voor een statistisch onderbouwd alternatief voor Factor 2 en Factor 3. Omdat in discussies tussen Deltares en CPB tot nu toe de factor $\frac{1}{2}$ is gebruikt en Deltares mede op basis hiervan gegevens heeft aangeleverd, wordt in deze KEA Afsluitdijk nog gewerkt met Factor 2 en Factor 3.

⁸⁴De extra golfoploop is locatie-afhankelijk en bepaald door Deltares op basis van aanvullende berekeningen.

⁸⁵Het maximum wordt dus bepaald over beschouwde locaties die op eenzelfde dijkkring liggen. Deze aanpak wordt ook in het project Waterveiligheid 21ste eeuw gevolgd (zie Kind, 2010 en Brekelmans et al, 2009).

Figuur H.3 Beschouwde locaties aan het IJsselmeer voor het bepalen van P3



Bron: Beckers et al, 2010 (p. 25).

Tabel H.3 geeft een overzicht van de hierboven besproken kansen P1, P2 en P3 voor de kern Basisalternatief in het jaar 2050 voor alle onderscheiden dijkgedeeltes. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat vooral P1 bepalend is voor de totale faalkans ($P_1 + P_2 + P_3$) van een specifieke dijkkring. Dit komt overeen met de hogere bedragen voor P1 in Tabel 6.5. De relatief lage kans voor P2 en P3 komt door de relatief lage faalkans van de Afsluitdijk. Uit de tabel kan ook worden opgemaakt dat als de Afsluitdijk in 2050 faalt (gegeven de zeespiegelstijging in het W+-scenario in dat jaar) dat dan ook vrijwel zeker de achterliggende dijkringen falen. Factor 3 geeft de terugkeertijd van het falen van een dijkkring aan in één gehele winterperiode indien er een bres in de Afsluitdijk is ontstaan. Voor vrijwel alle dijkringen is de terugkeertijd tussen de 1,5 en 3,1 jaar: de faalkans van deze dijkringen is tijdens een geheel winterseizoen is dus tussen 30 en 70%. De uitzondering betreft dijkkringdeel Flevoland-Noordoost (8-1): een terugkeertijd van 51,1 jaar komt overeen met een faalkans van 2%.

Tabel H.3 Faalkansen van verschillende oorzaken falen a-keringen, voor Basisalternatief in het jaar 2050 bij het W+-scenario

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₃ : deelfactoren			Resultaat	Totaal:
							(a)	P ₁ +P ₂ +P ₃
Dijkringdeel (en meest kwetsbare locaties)	1/faalkans	1/faalkans	factor 1	factor 2	factor 3	1/faalkans		1/faalkans
Friesland-Groningen-IJ'meer (6-4)	4.000	oneindig	10.000	0,5	1,5	29.900		3.500
F214 Hindeloopen Badpaviljoen								
Noordoostpolder (7-1)	4.000	oneindig	10.000	0,5	1,6	31.600		3.600
N223 Westermeerdijk								
Flevoland-Noordoost (8-1)	4.000	oneindig	10.000	0,5	51,1	1.022.100		4.000
F235 IJsselmeerdijk								
Wieringen (12-1)	4.000	oneindig	10.000	0,5	2,8	55.100		3.700
o1B Dijkgatbos								
Noord-Holland-West-Friesland (13-2)	10.000	97.560	10.000	0,5	2,5	50.800		7.700
o4A Onderdijk Nespolderdijk								
o5B Andijk Proefpolder Oost								
Markermeer e.d.	10.000	21.680	10.000	0,5	3,1	62.900		6.200
H-IJM169 Houtribdijk								

(a) Uitleg: Het P₃-eindresultaat wordt voor dijkkring 'Friesland-Groningen-IJ'meer (6-4)' als volgt berekend: $1/\text{factor 1} \times \text{factor 2} \times 1/\text{factor 3} = 1/10.000 \times 0,5 \times 0,75 \times 1/1,5 = 1/29.900$. Factor 1 betreft de terugkeertijd (=1/faalkans) van de Afsluitdijk in één winterseizoen. Factor 2 heeft betrekking op een half jaar extra risico. Factor 4 betreft de terugkeertijd (=1/faalkans) dat het betreffende dijkkringdeel faalt bij een verhoogd IJsselmeerpeil door een bres in de Afsluitdijk in één geheel winterseizoen in het betreffende jaar.

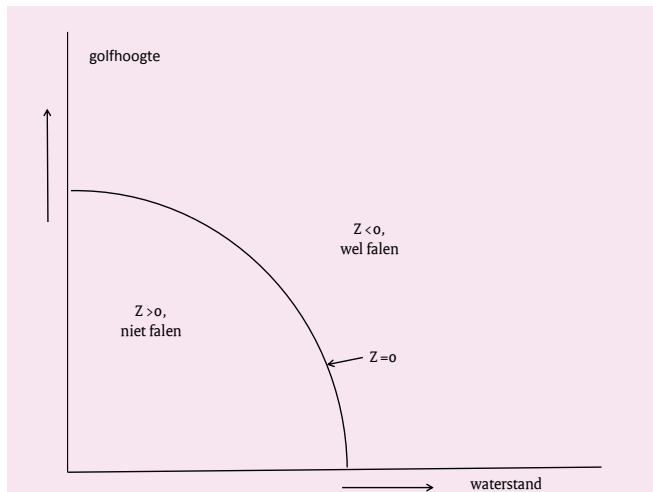
H.2 Het probabilistische model Hydra-VIJ

Voor het berekenen van de faalkansen P₂ en P₃ is gebruik gemaakt van het model Hydra-VIJ. Het model Hydra-VIJ berekent de kans op falen van waterkeringen langs de Vecht en IJssel en rond het IJsselmeer. Hydra-VIJ is ontwikkeld voor de vijfjaarlijkse toetsing van de primaire dijken in het IJsselmeergebied en de Vecht- en IJsseldelta. Hydra-VIJ is het wettelijke toetsinstrument dat hydraulische belastingniveaus bij gegeven normfrequentie bepaalt.

Er zijn verschillende mechanismen die het bezwijken van keringen kunnen veroorzaken, zoals golfoploop/overslag, instabiliteit van de dijkbekleding of instabiliteit van het dijklichaam. Voor de meeste van deze faalmechanismen is in Hydra-VIJ een betrouwbaarheidsfunctie, Z, geïmplementeerd die de sterkte van de kering vergelijkt met de hydraulische belasting. In de voor dit rapport uitgevoerde berekeningen is alleen het faalmechanisme golfoverslag beschouwd. Een faalkansberekening omvat een integratie over het faalgebied ($Z < 0$), dus over alle combinaties van belastingvariabelen die leiden tot falen.

De faalkans van een kering wordt berekend met behulp van een betrouwbaarheidsfunctie, $Z = R - S$, die de sterkte van de kering R ('resistance') vergelijkt met de hydraulische belasting S ('solicitation'). De belasting op een IJsselmeerdijk wordt bepaald door het meerpeilniveau, de scheefstand en de golfbelasting. Het meerpeilniveau wordt bepaald door het streefpeil, de mogelijkheid om water af te voeren naar de Waddenzee en de aanvoer via de rivieren en omliggende polders. Scheefstand wordt bepaald door windrichting, windsterkte, strijklengte en de waterdiepte. De sterkte van de dijk (weerstand tegen falen) hangt onder meer samen met het profiel. Als de belasting groter is dan de sterkte dan is $Z < 0$ en treedt falen op. De belasting is vaak een functie van meerdere belastingvariabelen. Een voorbeeld met belastingvariabelen waterstand en golfhoogte is schematisch weergegeven in Figuur H.4. Met een probabilistisch model kan de faalkans van een waterkering worden berekend door de kans te integreren over het faalgebied $Z < 0$, dus over alle combinaties van waterstand en golfhoogte die leiden tot falen.

Figuur H.4 Schematische weergave van een faalgebied van een a-kering voor belastingvariabelen waterstand en golfhoogte



Bron: Beckers et al, 2010 (p. 3).

H.3 Uitgevoerde controles en overige uitgangspunten

De uitgangspunten, aannamen en gedetailleerde berekeningen voor het in geld uitdrukken van de waarde van overveiligheid van de kernen zijn samengebracht in een Excel-rekensheet. Op verzoek is deze sheet te verkrijgen bij de auteurs van dit rapport. De berekeningen zijn gebaseerd op de onderscheiden kansen P₁, P₂ en P₃, zie paragraaf 6.4. In deze paragraaf zijn de belangrijkste aspecten kort toegelicht. Na een eerste definitie van deze kansen door het CPB, heeft Deltares de bijbehorende waarden voor P₁, P₂ en P₃ bepaald met behulp van het model Hydra-VIJ. Deze initiële berekeningen zijn aangeleverd in een Excel-rekensheet. De uiteindelijke berekeningen en de bepaling van de definitieve schadebedragen en faalkansen zijn gemaakt door het CPB, waarbij gebruik is gemaakt van de door Deltares geleverde Excel-rekensheet en aanvullende berekeningen. Bij Deltares hebben twee personen een review uitgevoerd op de uiteindelijke berekeningen en de beschrijving in paragraaf 6.4. Dit heeft geleid tot enkele aanpassingen en tot een eindresultaat waar het CPB en Deltares zich in kunnen vinden.

H.4 Factor 2 en factor 3 voor 'P3': kans op doorbraak gedurende de 'rest' van de winter

Bij de berekening van de baten van (over)veiligheid wordt bij kans 'P₃' de faalkans gedurende een gehele winter na het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk gecorrigeerd met een factor ½. Dit vanuit de pragmatische gedachte dat gemiddeld genomen nog een halve winter resteert nadat de bres is ontstaan.

Deze 'pragmatische' of 'grove' benadering wordt hier nader beschouwd. Op basis van een nadere analyse wordt een alternatief voor de factor 2 en factor 3 uit paragraaf 6.4 afgeleid.

Veronderstellingen stochastisch proces voor het falen van een a-kering

Verondersteld wordt dat een a-kering alleen kan falen tijdens het stormseizoen, ofwel het winterseizoen. We veronderstellen dat dit seizoen 26 weken behelst (een half jaar). Verder veronderstellen we dat er gedurende elk van deze weken één bepaald weertype (inclusief alle overige relevante 'omstandigheden' zoals Waddenzeepeil, IJsselmeerpeil, afvoer IJssel e.d.) kan optreden. Het weer (incl. genoemde peilen e.d.) in de ene week wordt onafhankelijk verondersteld van het weer in alle andere weken. Anders geformuleerd: de kans op falen in de ene week is onafhankelijk van de kans op falen in alle andere weken.

Voor de berekening van P_3 is met name factor 3 van belang. Factor 3 betreft de kans dat de a-kering faalt in één winterseizoen (van 26 weken), gegeven een bres van 400 meter in de Afsluitdijk. Deze kans (in het vervolg aangeduid met P_{3a}) is bepaald met het model Hydra-VIJ. De kans op niet-falen, NP_3 , in een winterseizoen is dus $NP_3 = 1 - P_{3a}$. Deze kans is gelijk aan de kans dat gedurende 26 weken de a-kering in elke week niet faalt. Gegeven de onafhankelijkheid tussen de weken, is de kans op niet-falen per week dan dus

$$NP_{3_{week}} = NP_3^{\frac{1}{26}}, \text{ opdat } NP_3 = \prod_{i=1}^{26} NP_{3_{week}} = (NP_{3_{week}})^{26}$$

Indien er dus in week $i \in \{1, 2, \dots, 26\}$ een bres in de Afsluitdijk ontstaat, dan is de *vervolgkans* op falen van de a-kering in de overige $26 - i$ weken:

$$1 - (NP_{3_{week}})^{26-i}$$

Indien de bres ontstaat in de laatste week, is de *vervolgkans* op falen 'o'.

We veronderstellen tevens dat de kans op het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk in iedere week even groot is. De *gemiddelde* kans dat de a-kering doorbreekt gegeven het ontstaan van een bres in de Afsluitdijk in één van de 26 weken is dus:

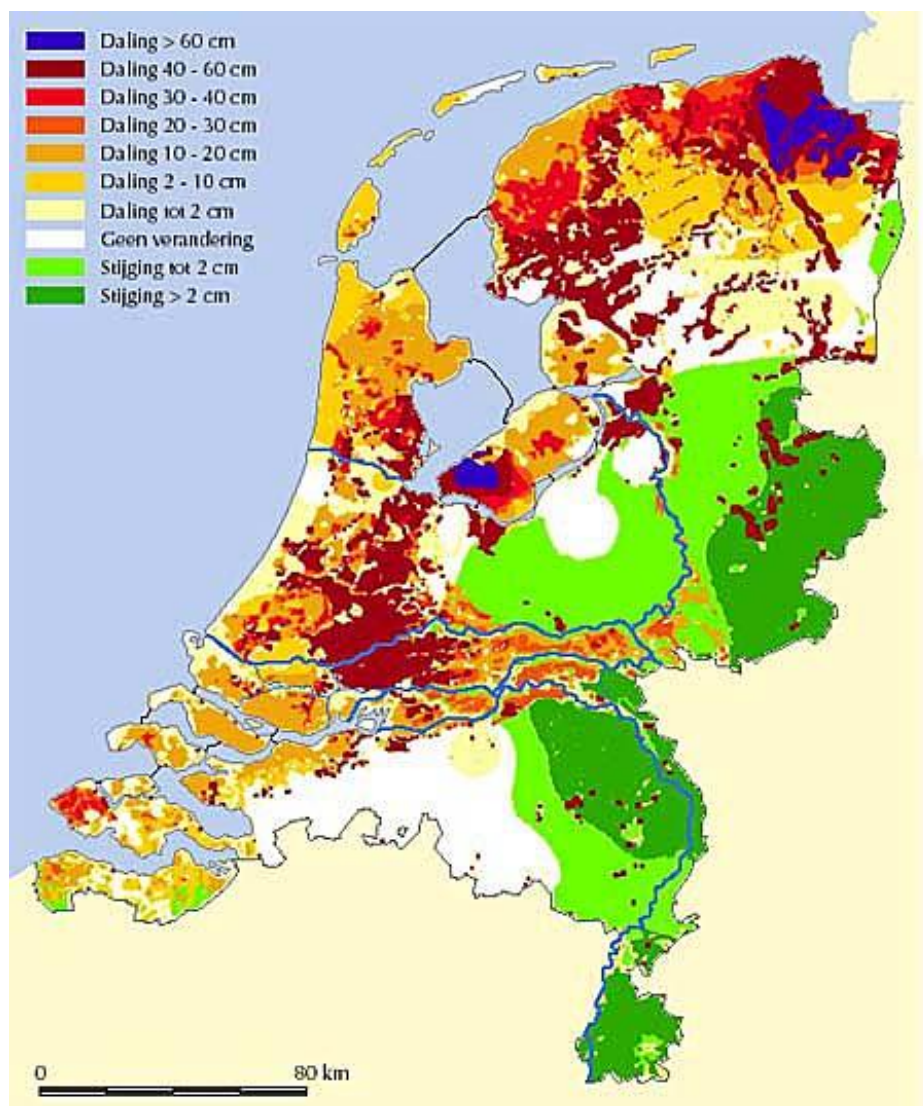
$$\frac{\sum_{i=0}^{25} 1 - (NP_{3_{week}})^i}{26} = \frac{\sum_{i=0}^{25} 1 - ((1 - P_{3a})^{\frac{1}{26}})^i}{26} \quad (\text{H.1})$$

Formule (H.1) kan daarom worden gebruikt in plaats van de eerder genoemde factor 2 en factor 3. In het project KBA Norm Afsluitdijk zal worden nagegaan welke benadering ('H.1' of 'factor 2 \times factor 3 = $\frac{1}{2} \times P_{3a}$ ') statistisch het beste past bij de gegevens zoals die door het model Hydra-VIJ worden bepaald.

H.5 Bodemdaling

De effecten van bodemdaling zijn niet meegenomen. Binnen de beschikbare tijd bleek het onmogelijk deze – locatiespecifieke – daling mee te nemen. Figuur H.5 geeft inzicht in de verwachte bodemdaling tot 2050. Uit de figuur blijkt dat de verwachte daling op sommige plekken fors genoemd kan worden.

Figuur H.5 Verwachte bodemdaling in Nederland tot 2050 ten opzichte van de huidige situatie



Bron: Rijkswaterstaat/NAM. Zie <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/1000877.html>

De huidige Afsluitdijk voldoet – bij lange na – niet aan de huidige wettelijke veiligheidsnorm. Deze norm schrijft voor dat de dijk waterstanden moet kunnen keren die maximaal eens in de tienduizend jaar voorkomen. Daarnaast moet de Afsluitdijk zijn andere ‘functies’ de komende tijd adequaat vervullen, zoals het waterbeheer van het IJsselmeer en het bieden van een snelle verbinding voor wegverkeer en scheepvaart. Deze kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk beschrijft de voor- en nadelen van een zestal varianten om tot het jaar 2100 weer te voldoen aan de bovengenoemde eisen. De varianten worden onderling vergeleken, gegeven de minimale functie-eisen. Dit gebeurt vanuit een welvaartseconomisch perspectief.

Hierbij wordt niet alleen gekeken naar gebruikelijke effecten als aanlegkosten, onderhoudskosten, energiegebruik, CO₂-uitstoot, natuur en landschap, maar ook naar de baten van extra veiligheid voor omwonenden rond het IJsselmeer en het Markermeer. Ook de effecten op de zoetwatervoorraad in het IJsselmeer zijn geanalyseerd. Last but not least, wordt rekening gehouden met de toekomstige, onzekere ontwikkelingen van onder andere de zeespiegelstijging. Flexibiliteit (reële optie-waarde) is een belangrijk onderwerp in deze publicatie.

Dit is een uitgave van:

Centraal Planbureau
Postbus 80510 | 2508 GM Den Haag
T (070) 3383 380
info@cpb.nl | www.cpb.nl

Gedrukt door:

De Swart BV
Postbus 53184 | 2505 AD Den Haag
T (070) 308 21 21

Juni 2011 | ISBN 978-90-5833-510-4

