

LEIDRAAD KUNSTWERKEN

LEIDRAAD KUNSTWERKEN

mei 2003

*Alle foto's zijn afkomstig uit het beeldarchief van V&W.
Omslagfoto: de sluizen bij IJmuiden.*

*Opmaak en druk: Nivo, Delft
Drukwerkbegeleiding: R.P. van der Laag*

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Voorwoord	11
1 Inleiding	13
1.1 Algemeen	13
1.2 Doel.....	14
1.3 Status.....	14
1.4 Overzicht leidraden en andere TAW-publikaties.....	15
1.5 Leeswijzer	17
2 De constructietypen	19
2.1 Constructietypen.....	20
2.2 Afsluitmiddelen	22
2.3 Aansluit- en overgangsconstructies	22
2.4 Overige objecten	23
3 Waterkeringszorg	25
3.1 Maatschappelijk kader	25
3.2 Functies	26
3.2.1 Waterkerende functie	26
3.2.2 Landschap, natuur en cultureel erfgoed (LNC).....	30
3.2.3 Overige functies	31
3.3 Beheercyclus	33
3.3.1 Beheerplan waterkeringen	34
4 Functioneel ontwerp	37
4.1 Algemeen	37
4.2 Rol beheerder	37
4.3 Ontwerpproces	39
4.4 Rapportage	42
4.5 Toelichting ontwerp	44
4.6 De rol van onderhoud in het ontwerpproces.....	45
4.7 Veiligheidstoetsing	47
4.7.1 Waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies.....	47
4.7.2 Overige objecten	47

5 Uitvoering	49
5.1 Seizoensrandvoorwaarden	49
5.2 Specifieke selectie- en gunningscriteria	50
5.3 Afstemming tussen ontwerp, realisatie en gebruik	50
5.4 Grondverwerving	51
6 Beheer	53
6.1 Inspectie- en onderhoudsplan	53
6.2 Bedieningsplan	55
6.3 Calamiteitenplan	56
Begrippenlijst	57
Totstandkoming	63
Referenties	65
Leeswijzer bijlagen	67
B1 Uitwerking veiligheidsfilosofie	71
B1.1 Inleiding	71
B1.2 Normstelling	71
B1.2.1 Voorwaarde 1: Overschrijding toelaatbaar instromend volume	73
B1.2.2 Voorwaarde 2: Constructief bezwijken kunstwerk	76
B1.3 Stroomschema ontwerp	77
B1.4 Toelichting stroomschema ontwerpcontroles	78
B1.4.1 Methoden	78
B1.4.2 Vaststellen omgevingsrandvoorwaarden	80
B1.4.3 Kerende hoogte (gesloten kunstwerk)	81
B1.4.4 Open keerpeil en betrouwbaarheid sluiting	83
B1.4.5 Sterkte en stabiliteit	84
B1.5 Verschillen tussen voorontwerp en ontwerp	85
B1.6 Informatieblad van het ontwerp	85
B1.7 Onderhoud	85
B1.8 Planperiode	86
B2 Kerende hoogte	87
B2.1 Inleiding	87
B2.2 Vaststellen toelaatbaar golfoverslag- of overloopdebiet	89
B2.2.1 Toelaatbare overslag – constructiebepaald	89

B2.2.2 Toelaatbare overslag in verband met komberging	90
B2.3 De aanleghoogte van de 'kruin'	92
B2.4 Berekening benodigde golfoverslag- of overloophoogte	96
B2.4.1 Rekenmethode voor de golfoverslaghoogte	96
B2.4.2 Bepaling van de benodigde overloophoogte	99
B2.4.3 Visualisatie van golfoverslag en overlopen	101
B2.5 Uitgewerkte voorbeelden	102
Referenties B2	108
B3 Betrouwbaarheid sluiting	109
B3.1 Inleiding	109
B3.2 Voornaamste begrippen	112
B3.3 Eenvoudige beoordelingsmethode betrouwbaarheid sluiting	113
B3.4 Gedetailleerde beoordelingsmethode betrouwbaarheid sluiting	116
B3.5 Geavanceerde methode:	
Betrouwbaarheids-/risicoanalyse	143
B3.5.1 De basiseis	143
B3.5.2 Betrouwbaarheidsanalyse/algemeen	144
B3.5.3 De gebeurtenis 'niet-sluiten'	147
B3.5.4 Foutenboom voor niet sluiten	151
B3.5.5 Numerieke gegevens	152
B3.6 Aanbevelingen voor sluitingsprocedures	160
Appendix B3 Voorbeeld keersluis	163
AppB3.1 Beschrijving van de keersluis	163
AppB3.2 Eenvoudige methode	164
AppB3.3 Gedetailleerde Methode	166
AppB3.4 Geavanceerde Methode:	
Betrouwbaarheidsanalyse	169
B4 Sterkte en stabiliteit	177
B4.1 Inleiding	177
B4.2 Belastingssituaties	180
B4.3 Vaststellen van de vereiste betrouwbaarheid	181
B4.4 Belastingen	185
B4.4.1 Inleiding	185
B4.4.2 Rekenwaarden voor de belasting	186
B4.4.3 Permanente belastingen	188
B4.4.3.1 Eigen gewicht	188
B4.4.3.2 Gronddruk op geotechnische constructies	188

B4.4.3.3 Grondwaterdruk op geotechnische constructies	188
B4.4.4 Veranderlijke belastingen.....	188
B4.4.4.1 Drukverschillen ten gevolge van waterstanden	189
B4.4.4.2 Windgolven	193
B4.4.4.3 Stroming	194
B4.4.4.4 Scheepsgolf.....	195
B4.4.4.5 Scheepsstroming	195
B4.4.4.6 Troskrachten en scheepsstoten.....	196
B4.4.4.7 Windbelasting.....	196
B4.4.4.8 Temperatuurbelasting.....	196
B4.4.4.9 Verkeersbelasting	196
B4.4.5 Bijzondere belastingen.....	196
B4.4.5.1 Aanvaring	197
B4.4.5.2 Aardbeving	198
B4.4.5.3 Explosie.....	198
B4.4.5.4 IJs.....	198
B4.4.5.5 Stroming in geval van 'niet sluiten'	199
B4.4.6 Limitatie veranderlijke belastingen.....	200
B4.5 Belastingcombinaties.....	200
B4.6 Sterkte	201
B4.6.1 Correctie op de materiaalfactor	201
B4.6.2 Uitzonderingen	201
B4.6.3 Vermoeiing.....	203
B4.6.4 Sterktedegradatie	205
Referenties B4	206
Appendix B4.1 Berekening maatgevend verval over het gesloten kunstwerk	207
Appendix B4.2 Belastingfactor op de waterstandsverschilddruk	211
B5 Golfbelasting op een verticale wand	215
B5.1 Inleiding.....	215
B5.2 Stroomdiagram golfbelasting	216
B5.3 Ontwerpparameters.....	218
B5.3.1 Waterdiepte	218
B5.3.2 Golfhoogte en golfperiode	218
B5.3.3 Golflengte	221
B5.4 Keuze van het model	221
B5.5 Belastingmodellen	223
B5.5.1 Belastingmodel van Sainflou.....	223
B5.5.2 Het gemodificeerde belastingmodel van Goda	225

B5.5.2.1 Golfdrukken	225
B5.5.2.2 Golfdrukcoëfficiënten	226
B5.5.2.3 Modificatiefactoren	227
B5.6 Aandachtspunten bij het ontwerp	228
B5.6.1 Scheef invallende golven en richtingspreiding	228
B5.6.2 Belastingconcentratie door fuikvorming	228
B5.7 Voorbeeld coupurekering	229
B5.7.1 Inleiding	229
B5.7.2 Randvoorwaarden	229
B5.7.3 Golfkrachten	230
B5.7.4 Alternatieve berekening van de golfbelasting	233
Referenties B5	235
B6 Onderhoud	237
B6.1 Inleiding	237
B6.2 Het opstellen van het Programma van Eisen	238
B6.2.1 Algemeen	238
B6.2.2 Randvoorwaarden	239
B6.2.3 Eisen m.b.t. betrouwbaarheid en beschikbaarheid	241
B6.2.4 Eisen met betrekking tot het constructief ontwerp	243
B6.2.5 Eisen met betrekking tot het ruimtelijk ontwerp	246
B6.3 Het ontwerpen en vergelijken van varianten	247
B6.3.1 Ontwerpen van varianten	247
B6.3.2 Vergelijken ontwerpvarianten	250
B6.4 Het maken van het uiteindelijke ontwerp	252
B6.4.1 Ontwerpgeboden	252
B6.4.2 Onderhouds- en inspectiestrategieën	253
B6.4.2.1 Algemeen	253
B6.4.2.2 Onderhoudsstrategieën	254
B6.4.2.3 Inspectiestrategieën	257
B6.5 Realisatie	258
B6.6 Rapportage van ontwerpuitgangspunten	258
B6.7 Onderhoudsplan	259
B6.7.1 Inhoud	259
B6.7.2 Systeemanalyse	260
B6.7.3 Inspectie- en onderhoudsinstructies	261
B6.7.4 Inspectie- en onderhoudsplanung	262
B6.7.5 Onderhoudsbegroting	264

B6.8 Onderhoud tijdens gebruik	265
B6.8.1 Algemeen.....	265
B6.8.2 Uitvoeren van onderhoud	267
B6.8.3 Uitvoeren van inspecties	267
Referenties B6.....	269
 B7 Kruisingen van tunnels en leidingen	 271
B7.1 Kruisingen van tunnels.....	271
B7.1.1 Inleiding	271
B7.1.2 Veiligheidsaspecten	272
B7.1.3 Uitzondering	273
B7.2 Kruisingen van pijpleidingen.	273
B7.2.1 Inleiding	273
B7.2.2 Aanvullende voorzieningen bij kruisingen van (pijp)leidingen met waterkeringen.....	274
B7.2.3 Doorgaande pijpleidingen	275
B7.2.4 Leidingen, direct in verbinding staande met het buitenwater.	276
 B8 Praktijkvoorbeeld keersluis	 279
B8.1 Beschrijving van de keersluis	279
B8.2 Hydraulische belastingen	280
B8.3 Kerende hoogte	280
B8.4 Betrouwbaarheid sluiting.....	283
B8.5 Sterkte en stabiliteit	287
B8.5.1 Controle kwelschermen op piping.....	287
B8.5.2 Sterkte stalen puntdeuren	288
B8.5.3 Sterkte betonnen sluiswanden.....	290
B8.5.4 Stabiliteit bodembescherming.....	292
B8.5.5 Ontgroningen	293
B8.5.6 Toelaatbaar paal draagvermogen	293
B8.5.7 Invloed planperiode.....	294
Referenties B8.....	296
 B9 Praktijkvoorbeeld schutsluis	 297
B9.1 Beschrijving van de schutsluis	297
B9.2 Hydraulische belastingen	300
B9.3 Kerende hoogte	300
B9.4 Betrouwbaarheid sluiting.....	301
B9.5 Sterkte en stabiliteit	302
B9.5.1 Controle kwelschermen op piping.....	302
B9.5.2 Sterkte stalen puntdeuren	303

B9.5.3	Sterkte betonnen sluiswanden.....	306
B9.5.4	Stabiliteit bodembescherming.....	308
B9.5.5	Stabiliteit kolkvloer.....	309
B9.5.6	Ontgroningen	309
B9.5.7	Toelaatbaar paal draagvermogen	310
B9.5.8	Invloed planperiode.....	310
Referenties	B9	312
Appendix	B9 Informatieblad	313

Op grond van de Wet op de waterkering dienen ook waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies in primaire waterkeringen te voldoen aan een zekere betrouwbaarheid. Bij kunstwerken kan worden gedacht aan sluizen, stormvloedkeringen en coupures. De categorie bijzondere constructies bestaat niet alleen uit constructies als kistdammen, keermuren, damwandschermen, dijkmuurtjes en gewapende grondlichamen, maar ook uit constructies die het waterkeren kunnen belemmeren, zoals gemalen, hevels, pijpleidingen en tunnels zonder kanteldijken.

In deze Leidraad wordt in een compacte hoofdtekst ingegaan op algemene aspecten van waterkeringszorg, functioneel ontwerp, uitvoering en beheer. In de negen bijlagen worden concrete handreikingen gegeven voor de vereiste controles.

In 1976 is de "Leidraad voor ontwerp, beheer en onderhoud van constructies en vreemde objecten in, op en nabij waterkeringen" uitgebracht. Omdat de veiligheidseisen aan kunstwerken destijds onvoldoende uitgewerkt konden worden, werd zodra de stand van kennis en techniek het toelieten de opvolger "Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies" opgesteld. Deze leidraad had de status van groene versie gekregen om het mogelijk te maken ervaringen met en wensen tot verbetering van de leidraad in een definitieve versie te verwerken. Tezamen met de voortschrijdende stand van techniek heeft de ervaring met de groene versie geresulteerd in deze "Leidraad Kunstwerken".

Ten opzichte van de groene versie is deze leidraad toegankelijker, doordat de informatie op consequente wijze op 3 niveaus (eenvoudig, gedetailleerd, geavanceerd) aangeboden wordt. Tevens is nadrukkelijker getracht de beheerder op zijn/haar verantwoordelijkheden te wijzen door de Leidraad en de Bijlagen voor verschillende doelgroepen te schrijven.

De achilleshiel van een kunstwerk zit veelal in het gebruik en niet in de constructieve onderdelen. De Leidraad benadrukt dan ook dat beheerders op dit punt zich niet teveel vrijheid kunnen veroorloven (dat wil zeggen geen misbruik en geen verloedering), hetgeen vastgelegd is in de 'specificaties' waarbinnen het kunstwerk moet worden onderhouden en veilig kan worden gebruikt. Het voordeel voor de beheerder is dat er nu hiervoor een harde onderbouwing voor kan worden gegeven. Voor nieuwbouw betekent dit flexibel, aanpasbaar, uitbreidbaar en onderhoudsbewuster ontwerpen.

De organisatie van de totstandkoming van deze leidraad was in handen van ir. R.C.A. Beem van de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Het schrijven is in handen geweest van verschillende auteurs. Via intensieve samenwerking, aangestuurd door een breed samengestelde begeleidingsgroep onder leiding van ing. A. de Koning van Waterschap IJsselmonde, kon de totstandkoming van deze leidraad vanuit een brede deskundigheid gerealiseerd worden. Ik ben er dan ook van overtuigd dat deze Leidraad een waardevolle aanvulling is voor de waterkeringsbeheerders bij de uitvoering van hun taak.

ir. W. van der Kleij
Voorzitter TAW

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Het stelsel van waterkeringen in Nederland is veelomvattend. De duinen aan de kust en de hoge gronden in Oost-Nederland vormen een min of meer natuurlijke beveiliging tegen hoogwater. Dijken en dammen zijn kunstmatige waterkeringen. Deze bestaan van oudsher uit een combinatie van zand en klei.

Waterkerende kunstwerken zijn meestal primair aangelegd ten behoeve van utilitaire kruisingen, zoals het (scheepvaart)verkeer, waterbeheersing of nutsvoorzieningen. Verder kunnen andere functies van de waterkering als woon-/werk-/leefmilieu, natuur, landschap en cultureel erfgoed er toe leiden dat, bijvoorbeeld in geval van ruimtegebrek bij vereiste versterking, bijzondere waterkerende constructies worden toegepast, zoals een kist-dam, keermuur of damwand. Hiervoor worden in specifieke gevallen ook grote waterkerende kunstwerken toegepast. Tenslotte kunnen kunstwerken of bijzondere constructies zelf waardevol zijn uit oogpunt van cultureel erfgoed, natuur of landschap.

Vanuit de waterkerende functie en de hieruit voortvloeiende eisen is er onderscheid in constructies die volledig zelfstandig de waterkerende functie dienen te vervullen, constructies die dit in combinatie met een grondconstructie doen en constructies die dit na falen van een andere constructie moeten doen.

*Foto 1.1
Cultureel erfgoed: de
kade langs de IJssel in
Deventer
(foto MD)*



Deze leidraad behandelt het realisatie- en instandhoudingsproces van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies, voor zover ze behoren tot de primaire waterkeringen. Deze leidraad is een onderdeel van een samenhangende serie van leidraden op het gebied van het waterkeren (zie tabel 1.1) en bouwt voort op de 'Grondslagen voor waterkeren' van de TAW [ref. 1].

1.2 Doel

Deze leidraad geeft aanbevelingen voor een zodanig ontwerp en beheer van een waterkerend kunstwerk of bijzondere waterkerende constructie, dat de verschillende waarden en functies, die het kunstwerk of de constructie kan bezitten, optimaal tot hun recht komen. Hierbij dient het kunstwerk of de constructie te voldoen aan functionele en constructieve uitgangspunten, eisen en randvoorwaarden.

Met name de aspecten, die van belang zijn voor de waterkerende functie van deze constructies, komen in deze leidraad aan de orde. Voor de overige functies geeft de leidraad verwijzingen naar relevante TAW-publicaties, zowel andere leidraden als technische rapporten, en overige ontwerpdocumenten of voorschriften.

Doelgroepen

Deze leidraad is specifiek bedoeld voor de beheerders van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies. Het geeft algemene richtlijnen om het realisatie- en instandhoudingsproces van deze kunstwerken, gericht op de functie waterkeren, te vervullen. De bijbehorende technische bijlagen, die dieper op de achtergronden van het ontwerpproces ingaan, zijn primair bedoeld voor ontwerpers en constructeurs.

1.3 Status

In Artikel 5 van de Wet op de waterkering [ref. 2] wordt het gebruik van leidraden aanbevolen aan degenen die met het beheer of het toezicht van een primaire waterkering zijn belast.

1.4 Overzicht leidraden en andere TAW-publicaties

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) geeft namens de Minister van Verkeer en Waterstaat een samenhangend geheel van leidraden uit. De samenhang van de Leidraad Kunstwerken met de andere leidraden en publicaties van de TAW is in tabel 1.1 aangegeven.

Er zijn twee typen leidraden.

De integrale leidraden geven algemene regels, die voor alle typen waterkeringen van belang zijn. Zo bevat 'Grondslagen voor waterkeren' de achtergronden, het waarom en hoe van het waterkeren, de besluitvorming, het dimensioneren, het verloop van het ontwerpproces, het dagelijks beheer en onderhoud en de onderlinge samenhang tussen genoemde aspecten. 'Grondslagen voor waterkeren' is het scharnierpunt tussen de Wet op de waterkering en de overige leidraden van de TAW. De Leidraad Toetsen op Veiligheid [ref. 3] geeft de rekenregels voor de vijfjaarlijkse veiligheidstoetsing van de primaire waterkeringen, die in het kader van de Wet op de waterkering plaatsvindt.

De leidraden per waterkeringstype geven waterkeringbeheerders instrumenten om hun beheertaak uit te voeren. Per waterkeringstype wordt de uitwerking van de methoden voor ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud aangegeven. Deze leidraden zijn in principe zelfstandig te gebruiken. Deelaspecten, zoals materialen en achtergronden, worden in aparte publicaties, basisrapporten of technische rapporten behandeld.

De Leidraden worden regelmatig vernieuwd, waarbij wordt uitgegaan van een termijn van 5 jaar. Deze termijn kan echter korter of langer zijn, afhankelijk van de ontwikkelingen op het gebied van beleid danwel techniek en wetenschap,

Integrale Leidraden	Leidraden per waterkeringtype	Specifieke publicaties/ technische rapporten
Grondslagen voor waterkeren 1998	Rivierdijken 1985	<u>Algemeen</u> Waterkerende Grondconstructies 2001
Toetsen op veiligheid 1999	incl. Handreikingen 1989 1994	<u>Materialen</u> Eisen klei voor dijken 1994 Cementbetonnen dijkbekledingen 1984 Toepassing van asfalt in de waterbouw 1991 1984
	Zandige kust, incl. basisrapport 1995	
	Zee- en meerdijken 2000	Asfalt voor waterkeren 2003
	Leidraad Kunstwerken 2003	<u>Belastingen</u> Golfoploop en golf-overslag bij dijken 1999
		<u>Overige</u> Keuzemethodiek dijk- en oeverbekledingen I en II 1988 Cel- en triaxiaalproeven 1988 Bodemonderzoek in en nabij waterkeringen 1988 Duinafslag 1984 Erosiebestendigheid van grasland als dijk-bekleding 1998 Toetsen boezemkaden 1993 Geotechnische Classificatie van Veen 1996 Zandmeevoerende Wellen 1999 Inspectiemethoden asfaltbekleding 1999

*Tabel 1.1
Samenhang van de
TAW-leidraden en
–publicaties/technische
rapporten*

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de indeling naar constructietypen, afsluitmiddelen, aansluit- en overgangsconstructies en overige objecten. Vervolgens behandelt hoofdstuk 3 de waterkeringszorg en het maatschappelijk kader, in samenhang met 'Grondslagen voor waterkeren'. Naast de waterkerende functie van een constructie komen de overige functies aan bod. Het hoofdstuk besluit met de behandeling van de beheercyclus.

Hoofdstuk 4 behandelt het functioneel ontwerp. Dit hoofdstuk biedt de waterkeringbeheerder een instrumentarium om een ontwerpproces te begeleiden: functionele eisen, ontwerpschema, wijze van rapportage, overdracht van ontwerp → uitvoering → beheer.

Hoofdstuk 5 behandelt uitvoeringsaspecten. Tenslotte beschrijft hoofdstuk 6 aspecten van het dagelijks beheer en onderhoud.

De volgende technische bijlagen zijn opgenomen:

- B Leeswijzer bijlagen
- B1 Uitwerking veiligheidsfilosofie
- B2 Kerende hoogte
- B3 Betrouwbaarheid sluiting
- B4 Sterkte en stabiliteit
- B5 Golfbelasting op een verticale wand
- B6 Onderhoud
- B7 Kruisingen van tunnels en pijpleidingen
- B8 Praktijkvoorbeeld Keersluis
- B9 Praktijkvoorbeeld Schutsluis

2 De constructietypen

Dit hoofdstuk geeft een invulling van het toepassingsgebied van deze Leidraad. In de praktijk is er sprake van waterkerende kunstwerken, bijzondere waterkerende constructies en overige objecten.

Waterkerende kunstwerken worden doorgaans aangelegd ten behoeve van utilitaire kruisingen en vormen een onderbreking van de doorgaande primaire waterkering. De kruisingen betreffen (scheepvaart)verkeer, waterbeheersing of andere zaken zoals het doorgang verlenen aan fauna.

*Foto 2.1
Waterkerend kunstwerk:
Prinses Beatrixsluizen
(Lekkanaal)
(foto MD)*



Bijzondere waterkerende constructies worden toegepast om niet-waterkerende functies mogelijk te maken, of om die bij versterking van de waterkering te handhaven. Tevens zijn diverse bijzondere constructies mogelijk, die deels in grond worden uitgevoerd, of die een verbetering van de grondeigenschappen inhouden. Het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [ref. 4] geeft een overzicht van dergelijke constructies. Vanwege het geringere ruimtebeslag van een bijzondere constructie blijft in vergelijking tot een grondconstructie meer ruimte beschikbaar voor de functies woon-/werk- en leefmilieu, landschap, natuur en cultureel erfgoed.



*Foto 2.2
Bijzondere constructie:
de kade langs de IJssel
in Deventer
(foto MD)*

Overige objecten hebben in de regel geen waterkerende functie. Soms zijn bijzondere constructies nodig om deze objecten in de invloedssfeer van de waterkering toe te staan.

In paragraaf 2.1 worden de veel voorkomende constructietypen behandeld, in paragraaf 2.2 en 2.3 volgen wat opmerkingen over de afsluitmiddelen en de aansluit- en overgangsconstructies en in paragraaf 2.4 volgt tenslotte een bespreking van de overige objecten.

2.1 Constructietypen

Vanuit de specifieke waterkerende functie en de hieruit voortvloeiende taakstellende eis voor de sterkte dient onderscheid te worden gemaakt in vier typen constructies:

- type I: constructies die volledig zelfstandig de waterkerende functie moeten vervullen;
- type II: constructies die in combinatie met een grondconstructie de waterkerende functie moeten vervullen;
- type III: constructies die na falen van een andere constructie de waterkerende functie moeten vervullen;
- type IV: constructies welke geen waterkerende functie hebben, maar bij falen de waterkering kunnen aantasten.

Tabel 2.1

Indeling in constructie-
typen

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de indeling van veel voorkomende constructies in de vier typen

<i>Waterkerende kunstwerken</i>	constructietype			
	I	II	III	IV
- schutsluizen	♦			
- stroomsluizen (spui-, inlaat- en doorlaatsluizen)	♦			
- keersluizen	♦			
- hoogwater- en stormvloedkeringen	♦			
- coupures	♦	♦		
<i>Bijzondere waterkerende constructies</i>				
- specifiek beweegbare keringen (roteerbare, verschuifbare, oppompbare of mobiele keringen)	♦	♦		
- kistdammen en diepwanden	♦			
- cellen- en combiwanden	♦			
- keermuren, -wanden en kadewanden	♦			
- damwandschermen (stabiliteit-, erosie-, kwel-, en functiescheidende schermen)		♦		
- palenwanden		♦		
- keer- en dijkmuurtjes		♦		
- gewapende grondconstructies		♦		
<i>Overige objecten (kokervormige constructies door de waterkering)</i>				
- gemalen	♦	♦	♦ ¹⁾	♦
- duikers			♦ ¹⁾	♦
- pijpleidingen			♦ ¹⁾	♦
- tunnels (zonder kanteldijken)			♦ ¹⁾	♦

¹⁾ Bij aanwezigheid van keermiddelen of vervangende waterkeringen (damwanden of kanteldijken)

Bijlage B1 gaat per type constructie verder in op de vertaling van de veiligheidsnorm uit de Wet op de waterkering naar taakstellende eisen en hydraulische randvoorwaarden voor de constructie. Bijlage B4 geeft per type constructie:

- de eisen voor de stabiliteit en de sterkte van de constructie;
- én de bijbehorende rekenwaarden voor de sterkte en de belastingen.

Dit geldt zowel voor de vaste constructieonderdelen als voor de hierin aanwezige afsluitmiddelen. Voor tunnels en pijpleidingen zijn er specifieke eisen; zie hiervoor bijlage B7.

2.2 Afsluitmiddelen

Afsluitmiddelen komen vooral voor bij de type I constructies, en zijn afhankelijk van de situatie:

- in beginsel gesloten, eventueel te openen op aanvraag;
- in beginsel open en pas te sluiten bij sluitpeil of calamiteit.

Voor afsluitmiddelen spelen daarom niet alleen de eisen voor de sterkte een rol, maar ook de eisen voor de sluiting. Zowel de taakstellende eis voor de sterkte als die voor de betrouwbaarheid van de sluiting is te vinden in bijlage B1.

De sterkte-eisen van de afsluitmiddelen zijn dezelfde als de sterkte-eisen van de constructieonderdelen volgens bijlage B4. De bepaling van de betrouwbaarheid van de sluiting geschiedt volgens bijlage B3. Specifieke eisen voor keermiddelen in tunnels en afsluiters in pijpleidingen zijn te vinden in bijlage B7.

2.3 Aansluit- en overgangsconstructies

Aansluitconstructies

Een aansluitconstructie is in het algemeen een constructie om waterkeringen van verschillende typen op elkaar aan te sluiten. In het kader van deze Leidraad betreft het de aansluiting van een kunstwerk op het naastliggende dijklichaam of duin. Meer specifiek wordt meestal bedoeld op maatregelen ter voorkoming van achterloopsheid en onderloopsheid. Dit aspect wordt in het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen behandeld.

Overgangsconstructies

Een overgangsconstructie is in het algemeen de overgang van één type bekleding naar een ander type bekleding. Bij een kunstwerk is meestal geen sprake van bekleding. Er dient echter wel aandacht te worden besteed aan de aansluiting van de bekleding van het aansluitende dijklichaam of duin op het kunstwerk. Dergelijke locaties zijn vaak aan grotere golfbelastingen onderhevig en ook de belasting door zwerfvuil kan hoger zijn. Daarnaast is onderhoud van bijvoorbeeld een grasbekleding direct naast een kunstwerk lastiger. De Leidraad Toetsen op Veiligheid, de gebiedsgebonden Leidraden en de Technische Rapporten waarin de verschillende typen bekledingen worden behandeld geven meer informatie over dit onderwerp.

2.4 Overige objecten

Onder overige objecten worden alle objecten verstaan, die zich in of binnen de invloedssfeer van een waterkering bevinden, doch die niet in positieve zin bijdragen aan de waterkerende functie of zelfs negatieve effecten kunnen hebben. Onderscheid wordt gemaakt in:

- **kokervormige constructies**

Kokervormige constructies die de dijk snijden, zoals de transportleidingen van gemalen, hevels, duikers, pijpleidingen en tunnels zonder kanteldijken, mogen niet leiden tot een verminderde veiligheid van de waterkering. Voor pijpleidingen die binnen de invloedssfeer van een waterkering liggen zijn aparte normen van toepassing waaraan moet worden voldaan, de NEN 3650, 3651 en/of 3652 en de NPR 3659. In bijlage B7 is met name op kruisingen van tunnels en pijpleidingen met de waterkering ingegaan.

- **overige constructies en objecten**

Hieronder vallen kabels, windmolens, geluidsschermen, hoogspanningsmasten, pijlers of landhoofden van bruggen en viaducten, bebouwing, wegen (inclusief wegmeubilair), aanlegsteigers, etc. Deze objecten zijn een logisch gevolg van het feit dat een waterkering meestal meerdere (neven)functies heeft. Ook vanuit de functie waterkeren kunnen deze objecten nodig zijn, zoals (onderhouds)wegen en dijkpalen.

Uitgangspunt is dat, ondanks de aanwezigheid van deze objecten, het waterkerend vermogen van de waterkering gegarandeerd blijft.

Zonodig worden maatregelen getroffen om dit te bewerkstelligen, zoals het aanbrengen van de in deze Leidraad genoemde bijzondere constructies of het vergroten van het grondlichaam.

- **begroeiing**

Hieronder worden bomen, struiken, etc. verstaan, voor zover deze geen rol spelen in de waterkerende functie van de waterkering. Voor begroeiing geldt in principe hetzelfde als voor de 'overige constructies en objecten', namelijk dat de begroeiing de veiligheid van de waterkering niet mag verminderen.

Veiligheidsbeoordeling

De beoordeling van overige objecten op de veiligheid van de waterkering, met uitzondering van enkele aspecten met betrekking tot pijpleidingen, valt buiten het kader van deze Leidraad. Het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies geeft enkele handvatten hiervoor. Onder bepaalde omstandigheden worden voor bestaande objecten aangepaste eisen ten aanzien van de veiligheid gesteld. Katern 7 van de

Leidraad Toetsen op Veiligheid gaat hier verder op in.

Indien een bijzondere waterkerende constructie wordt geplaatst om negatieve gevolgen van aanwezige objecten te voorkomen of te compenseren, dan dient deze constructie wel volgens de voorliggende Leidraad Kunstwerken te worden ontworpen. Het ontwerp van bijvoorbeeld een damwand die wordt geplaatst om waardevolle bebouwing te sparen, dient te geschieden volgens deze leidraad.

Indien sprake is van constructies met meerdere functies is de functie, op basis waarvan de strengste eis geldt, bepalend voor de dimensionering.

3 Waterkeringszorg

Ons maatschappelijke bestel zorgt voor verankering van de waterkeringszorg: de wet, de bestuurlijke organisatie en de uitvoering van het beleid. Paragraaf 3.1 geeft een korte beschrijving. Tevens komen de waterkerende functie en de overige functies aan bod: een algemeen gedeelte in paragraaf 3.1 en een specifiek gedeelte in paragraaf 3.2. Het hoofdstuk sluit af met de beheercyclus van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies. Een en ander is te lezen in samenhang met Grondslagen voor waterkeren.

3.1 Maatschappelijk kader

Alle primaire waterkeringen in ons land worden in stand gehouden door hierop gericht beheer en onderhoud uit te oefenen. De waterkeringszorg is verdeeld over drie bestuurslagen: het rijk, de provincie en de waterschappen. Daarnaast speelt ook de gemeente een rol bij met name ruimtelijke ordeningsaspecten en calamiteiten. Het beheer en onderhoud van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies ligt grotendeels bij de waterschappen en/of Rijkswaterstaat.

In het kader van de Wet op de waterkering beoordelen Gedeputeerde Staten van de provincies de 5-jaarlijkse rapportages van de waterkeringbeheerder over de waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen. Gedeputeerde Staten rapporteren vervolgens aan de Minister van Verkeer en Waterstaat.

Als een waterkering niet meer aan de eisen voldoet vindt verbetering plaats (zie hoofdstuk 4). De waterkeringbeheerder biedt verbeteringsplannen in het kader van de Wet op de waterkering ter goedkeuring aan bij het Bevoegd Gezag, zijnde de Gedeputeerde Staten van de provincie waarin de waterkering ligt. Hierbij is het Besluit MER uit de Wet milieubeheer (Wmb) van belang. In dit Besluit staat onder meer wanneer een MER-procedure of een MER-beoordeling plaatsvindt.

Uitgangspunt bij de beleidsuitvoering is een multifunctionele benadering waarbij de waterkerende functie niet in het gedrang mag komen. De volgende paragraaf beschrijft de functies die hierbij een rol spelen.

Waterkerende kunstwerken zijn meestal primair aangelegd ten behoeve van utilitaire kruisingen, zoals het (scheepvaart)-verkeer, waterbeheersing of nutsvoorzieningen. Paragraaf 3.2.1 geeft een toelichting op de waterkerende functie van een constructie of kunstwerk. Bijzondere constructies

worden vaak toegepast om de aan te leggen of te versterken waterkering af te stemmen met de functies recreatie, woon-/werk-/leefmilieu. Tevens kunnen ze dienen voor behoud en/of ontwikkeling van de zogenaamde LNC-waarden: landschap, natuur en cultureel erfgoed. Paragraaf 3.2.2 gaat nader in op deze functies.

Overige functies worden in paragraaf 3.2.3 behandeld. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de meest voorkomende functies.

Functie	Omschrijving
Waterkeren	beveiliging tegen overstroming
LNC	behoud en/of ontwikkeling van de drie aspecten: Landschap (L), Natuur (N) en Cultureel erfgoed (C) op regionaal, lokaal en dijkniveau
Integraal waterbeheer	sluizen en gemalen ten behoeve van het doorlaten van water, reguleren waterstanden, beheer waterkwaliteit
Verkeer/vervoer	utilitaire kruisingen ten behoeve van wegverkeer, scheepvaart en nutsvoorzieningen
Woon-/werk-/leefmilieu	(semi) permanente bewoning, industrieterreinen, land- en tuinbouw en recreatieve activiteiten

Tabel 3.1 Meest voorkomende functies

3.2 Functies

3.2.1 Waterkerende functie

Als taakstellende eis wordt gesteld dat een constructie zodanig dient te worden ontworpen, gebouwd en onderhouden, dat de beoogde waterkerende functie gedurende een voorgenomen tijdsduur (planperiode) bij de vigerende ontwerp- en of toetsingsnormen met voldoende betrouwbaarheid zal worden vervuld. Deze waterkerende veiligheidseis stelt harde randvoorwaarden aan het ontwerp en beheer.

Alle te onderscheiden constructieonderdelen dienen hun functie zodanig te vervullen dat de kans op falen van de gehele constructie voldoet aan de waterkerende veiligheidseis. Met betrekking tot onderhoud en inspecteerbaarheid dient rekening te worden gehouden met de bereikbaarheid van de diverse onderdelen.

Foto 3.1

*Bijzondere constructie:
Coupure in de vesting-
wal van Heusden, nabij
de Waterpoort
(foto MD)*



Veiligheidsbenadering

In Grondslagen voor Waterkeren worden vier ontwerpmethoden genoemd voor de uitwerking van de veiligheidsbenadering. De in deze Leidraad uitgewerkte veiligheidseisen zijn representatief voor de overbelastingsbenadering per dijkvak. Overbelasting wordt hierbij gedefinieerd als overschrijding van een toelaatbare hoeveelheid instromend water over de gesloten kering. Voor de toelaatbare kans hierop wordt uitgegaan van de veiligheidsnorm volgens de Wet op de waterkering.

Daarnaast worden eisen gesteld aan de kans op overschrijding van een toelaatbare hoeveelheid instromend water door de geopende kering ten gevolge van falen van de sluiting en aan de kans op constructief bezwijken. Uitgangspunt is dat de kans op deze gebeurtenissen 'klein' moet zijn ten opzichte van de veiligheidsnorm. De vertaling daarvan naar meer concrete ontwerpeisen wordt behandeld in bijlage B1.

De veiligheidsbenadering en de uitwerking daarvan, die in deze Leidraad wordt gegeven, is representatief voor conventionele kunstwerken en bijzondere constructies. Voor afwijkende constructies, zoals bijvoorbeeld

tunnels en stormvloedkeringen, is maatwerk nodig. Hiervoor worden in de regel specifieke ontwerpeisen geformuleerd.

Veiligheidsnorm

Primaire waterkeringen

De Wet op de waterkering geeft een indeling van Nederland in dijkkringgebieden met een bijbehorende veiligheidsnorm. De Leidraad Toetsen op Veiligheid geeft, afhankelijk van het type te keren water en de ligging van het te beschermen dijkkringgebied, de volgende categorie-indeling van de primaire waterkeringen:

1. Behoort tot het stelsel dat direct het dijkkringgebied omsluit en buitenwater keert.
2. Als categorie (1), maar is niet bestemd tot de directe kering van buitenwater.
3. Ligt vóór een dijkkringgebied en keert buitenwater.
4. Als categorie (3), maar is niet bestemd tot de directe kering van buitenwater.
5. Als één van de categorieën (1) tot en met (4), maar ligt buiten de landsgrens.

De veiligheidsbenadering van deze Leidraad kan in principe worden toegepast voor primaire waterkeringen van elke categorie.

Voor keringen die onder categorie (2) vallen dient volgens de Wet op de waterkering, in afwachting van de vaststelling van een veiligheidsnorm, tenminste dezelfde veiligheid te worden geboden als het dijkkringgebied tot waar ze behoren op de datum van inwerkingtreding van de wet (1996).

Voor keringen die onder categorie (3) vallen dient de vereiste waterkerende veiligheid integraal met die van de achterliggende dijkkringgebieden te worden vastgesteld. De waterkerende veiligheid is in ieder geval voldoende indien deze keringen voldoen aan de zwaarste van de normen van de achter de kering liggende en/of met de kering verbonden dijkkringgebieden.

Regionale waterkeringen

De veiligheidsbenadering kan ook worden toegepast voor niet-primaire waterkeringen, zoals boezemkaden en secundaire waterkeringen. In dat geval dienen de taakstellende eisen in overleg met de bevoegde instantie (veelal de provincie) te worden bepaald.

Hydraulische randvoorwaarden

De meeste hydraulische randvoorwaarden, welke horen bij de wettelijk vastgelegde norm, worden voor het buitenwater eens per vijf jaar bij ministeriële regeling ter beschikking gesteld middels de Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen [ref. 5]. Deze randvoorwaarden zijn toetsrandvoorwaarden en moeten nog worden omgezet naar ontwerprandvoorwaarden, waarmee naar verwachting de constructie gedurende de gehele beoogde planperiode aan de eisen kan blijven voldoen (zie ook de in bijlage B1.8 genoemde overwegingen).

Voor zover de hydraulische randvoorwaarden hierin niet zijn opgenomen, moeten deze door de beheerder van het kunstwerk zelf worden opgesteld. De gebiedsgebonden Leidraden geven hier meer informatie over. Als de Leidraden geen oplossing bieden, zal een aparte studie moeten worden verricht.

Faalkanseisen

De faalkanseisen van de kering zijn gerelateerd aan de veiligheidsnorm. In de Wet op de waterkering is voor elk dijkkringgebied deze norm vastgelegd.

De norm is gegeven als een gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de waterstand waarop de kering moet zijn berekend, waarbij tevens gelet moet worden op overige factoren die bepalend zijn voor het waterkerend vermogen. Deze eis is bij de vertaling naar een praktisch bruikbare formulering opgesplitst in eisen ten aanzien van:

- de kerende hoogte;
- de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen;
- de sterkte en stabiliteit.

Hierbij moet worden opgemerkt dat niet in alle gevallen alle drie deze eisen relevant zijn.

Genoemde opsplitsing vindt zijn oorsprong in de rapportage van de Delta commissie. De invulling van de eisen is gebaseerd op latere interpretaties en wordt in bijlage B1 behandeld. Het uitgangspunt van deze Leidraad is de dijkvakbenadering.

Een benadering waarbij een meer integrale beoordeling van de veiligheid en de risico's wordt verkregen is de overstromingsrisicobenadering. De

overstromingskans is de kans dat een gebied overstroomt, doordat de waterkering rondom dat gebied (de dijkkring) op één of meer plaatsen faalt. Hierbij worden tevens de gevolgen betrokken in het achterliggende gebied in termen van kombergend vermogen en overstromingsdiepte. Vooralsnog is deze benadering in studie en nog niet geschikt als ontwerp-instrument.

3.2.2 Landschap, natuur en cultureel erfgoed (LNC)

LNC-waarden hebben sinds het werk van de Commissie-Boertien een duidelijke plaats gekregen in de besluitvorming bij dijkverbeteringswerken.

Bij het ontwerpen van waterkeringen dient rekening te worden gehouden met onder andere ecologische verbindingzones, beschermde en bedreigde rode lijstsoorten, landschappelijke inpassing, beschermde dorps- of stadsgezichten, archeologische vindplaatsen en cultuurhistorische monumenten. Voor het behoud en/of ontwikkeling van bestaande LNC-waarden is het toepassen van een bijzondere constructie vaak één van de ontwerpvarianten. Het toepassen van bijzondere objecten als een vistrap bij een waterkerend kunstwerk geeft aan dat de fauna een belangrijk aandachtspunt is.

De in tabel 3.1 genoemde planologische functies als integraal waterbeheer, verkeer/vervoer, woon-/werk-/leefmilieu en recreatie zijn uit te drukken in maatschappelijke aanvaarde marktwaarden. Dit geldt niet voor de LNC-waarden. Hiervoor ontbreken algemeen aanvaarde integrale beoordelingscriteria. Afwegen is niet een proces dat via vaste objectieve formules verloopt, maar berust op het stellen van doelen en het maken van keuzen. Door het formuleren van doelstellingen en het beargumenteerd maken van keuzen wordt de relatie tussen de waterkeringszorg (bij zowel aanleg, verbetering als dagelijks beheer) en de specifieke gebiedseigenschappen helder. Aangezien het kiezen van prioriteiten en doelen gebiedsspecifiek is, moet dit in elk dijktraject opnieuw gebeuren.

Bij de recente versterking van de Beermuur te Wijk bij Duurstede en de Vestingwallen bij Gorinchem heeft het cultuurhistorische aspect een belangrijke rol gespeeld in het ontwerpproces. Het zichtbare gedeelte van de Beermuur is een exacte kopie van de eerste muur die in de zestiende eeuw Wijk bij Duurstede tegen het rivierwater beschermde. De Vestingwallen te Gorinchem zijn cultuurhistorie-verantwoord versterkt, met behoud van het zo bijzondere en waardevolle karakter. Tevens is een zogenaamde bloemenmuur al bloeiend verplaatst om deze bijzondere vegetatie te behouden.

Foto 3.2
Groot waterkerend
kunstwerk: de
Maeslantkering in de
Nieuwe Waterweg
(foto MD)



Voorbeelden van grote waterkerende kunstwerken met een multifunctioneel karakter zijn de Balgstuw bij Ramspol, de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg en de Keersluis in de Afgedamde Maas.

Deze kunstwerken zijn aangelegd ter reductie van geplande dijkversterkingsprogramma's, waarbij het behoud van LNC- en overige (met name woon)aspecten een belangrijke rol heeft gespeeld.

Overigens geeft 'Grondslagen voor waterkeren' richting aan visieontwikkeling en waardering van LNC-aspecten en overige functies.

3.2.3 Overige functies

Integraal waterbeheer

In het integraal waterbeheer heeft een waterkering de functie van waterscheiding tussen binnen- en buitenwater. Doordat de vrije afstroming wordt geblokkeerd is een aantal voorzieningen noodzakelijk om het gewenste binnenpeil te handhaven. Dit betreft het uitslaan van overtollig water en - soms - het inlaten van buitenwater. Dit vereist kunstwerken in de vorm van duikers of hevels, stroomsluizen en/of gemalen. Naast dit aspect is de opvang van (zout) kwelwater en overslaand water van belang.

Verkeer/vervoer

In verband met de hoge - en dus droge - ligging van een waterkering heeft deze van oudsher een verkeersfunctie. Naast het (weg)verkeer in langsrichting zijn er in de loop van de tijd ook dwarsverbindingen ontstaan, waarbij in specifieke gevallen gebruik is gemaakt van tunnels en coupures. Kruisingen van waterkeringen en vaarwegen maken de aanleg van schutsluizen nodig.

Richtlijnen hiervoor zijn gegeven in publicaties betreffende die specifieke functies. Voorbeelden hiervan zijn de Richtlijnen Vaarwegen van de Commissie Vaarwegbeheerders voor scheepvaart en de RONA-richtlijnen voor wegverkeer. Om een afweging te kunnen maken tussen de soms strijdige functionele eisen, dienen de uit de verschillende functies voortvloeiende eisen of wensen te worden geconcretiseerd. Paragraaf 3.4 gaat hier op in.

Woon-/werk-/leefmilieu

Bebouwing op, langs en nabij de waterkering vormt een specifiek aandachtspunt. Van oudsher is bebouwing aanwezig op de rand van land en water. Om te voldoen aan het waterkerend vermogen zijn vaak creatieve oplossingen bedacht, die aan de bebouwing speciale eisen stellen. Vaak komt het voor dat bijzondere constructies zijn gebruikt om aan de veiligheidseis te voldoen.

In stedelijk gebied komt het principe van multifunctioneel ruimtegebruik steeds vaker voor. Recente voorbeelden zijn de toepassing van een diepewand in Hardinxveld-Giessendam en de Dordtse wand te Dordrecht, waarbij diverse functies, waaronder waterkeren, zijn gecombineerd. In Dordrecht is de waterkering geïntegreerd in de fundering/parkeerkelder van nieuwe dijkwoningen.

Industrieterreinen met watergebonden activiteiten zijn veelal buitendijks gelegen, wat leidt tot extra kruisingen van wegen en leidingen. Tenslotte zal de recreatieve druk op waterkeringen tot gevolg hebben dat naast toegankelijkheid ook diverse voorzieningen in de vorm van objecten of nieuwe kruisingen ten behoeve van recreatief scheepvaartverkeer onderdeel vormen van dit medegebruik.

3.3 Beheercyclus

Het beheer omvat het totaal aan activiteiten om te waarborgen dat de vastgestelde functies van de waterkering kunnen worden vervuld. In de Provinciale Verordening Waterkeringen is de verplichting opgenomen een beheerplan op te stellen. In het beheerplan zijn de visie en de bijbehorende uitwerking daarvan vastgesteld (zie ook 'Grondslagen voor waterkeren').

Bij het realisatie- en instandhoudingsproces (beheerproces) zijn te onderscheiden:

- (dagelijks) beheer vanuit de functie 'veiligheid';
- (dagelijks) beheer vanuit de overige functies;
- grootschalige aanpassing of nieuwbouw.

Hoofdstuk 6 van de 'Grondslagen voor waterkeren' en paragraaf 4.1 van de Leidraad Zee- en Meerdijken [ref. 6] gaan hier verder op in.

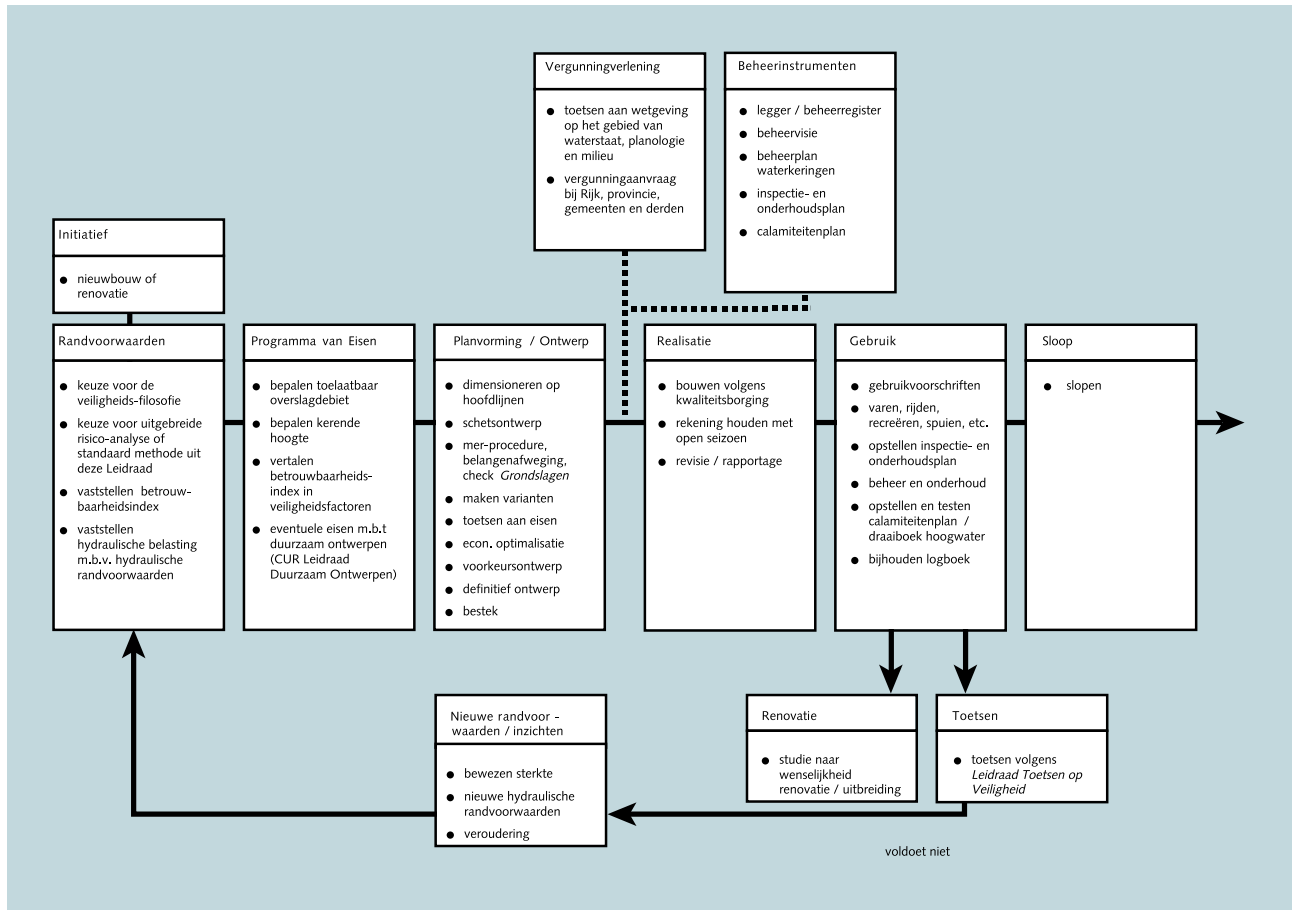
Cyclus

Als uit de 5-jaarlijkse toetsing blijkt dat de waterkering niet meer de vereiste veiligheid tegen overstromen biedt, is aanpassing noodzakelijk. De aanpassing van een waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie kan variëren van de aanpassing of renovatie van bijvoorbeeld een sluisdeur tot volledige nieuwbouw. Meestal zijn daarbij meerdere oplossingen mogelijk en zal uit deze alternatieven een keuze moeten worden gemaakt.

Figuur 3.1 geeft het realisatie- en instandhoudingsproces (beheerproces) van een waterkering weer.

De activiteiten in het schema van figuur 3.1 doorlopen lussen. Tijdens een activiteit wordt vaak naar een volgende fase gekeken, bijvoorbeeld bij het (globaal) dimensioneren van alternatieven. Voor een bestaand waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie staat in de legger omschreven waaraan deze moet voldoen naar vorm, afmeting en constructie. Op basis van de inhoud van de legger is te bepalen welke lus moet worden doorlopen.

Een beheerplan is een goed instrument om het hiervoor geschetste beheerproces van een waterkering in vast te leggen. De volgende paragraaf gaat hier nader op in.



Figuur 3.1
Realisatie- en instandhoudingsproces van een waterkering

3.3.1 Beheerplan waterkeringen

Beheervisie

De Wet op de waterkering stelt de beheerder verantwoordelijk voor de instandhouding van de waterkering conform een gekwantificeerd veiligheidsniveau. Het instandhouden van waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies, zodanig dat aan de functie waterkeren wordt voldaan, staat echter niet op zichzelf: deze kunstwerken hebben vaak meerdere functies. Om het beheer van de waterkering goed in te kunnen vullen, zal de beheerder een visie moeten ontwikkelen die betrekking heeft op alle aanwezige functies. Deze visie is het startpunt van een beheerplan.

Beheerplan

De Provinciale Verordening Waterkeringen, die gebaseerd is op de Wet op de waterkering, verplicht de beheerder een beheerplan voor de waterkeringen op- en vast te stellen. Vervolgens kan dit plan gezien worden als een hulpmiddel voor het vastleggen van beleid, om op basis daarvan te komen tot een afgewogen programma aan maatregelen dat moet leiden

tot een functionele invulling van het beheer.

Ook kan met een beheerplan de vraag vanuit de maatschappij worden beantwoord om meer inzicht in het beheer te krijgen. In een beheerplan waterkeringen wordt het beleid van een beheerder vastgelegd, waaruit een afgewogen programma van maatregelen volgt dat moet leiden tot een functionele invulling van het beheer.

In het beheerplan is het totale beheersysteem voor waterkeringen vastgelegd. Het beheerplan:

- beschrijft het beheerde areaal;
- geeft een korte beschrijving van landelijk en regionaal vastgesteld beleid, wet- en regelgeving;
- vertaalt dit in concrete doelstellingen, die de beheerder de komende jaren wil bereiken, inclusief bijbehorende functie-eisen;
- beschrijft de systematiek, waarmee de beheerder de streefbeelden denkt te bereiken (beheerfilosofie en -strategie, communicatie, procedures, informatiebeheer en -beheersing);
- geeft een weergave van de actuele kwaliteitstoestand;
- evalueert het gevoerde beheer over de periode sinds de vaststelling van het vorige beheerplan;
- geeft aan welke maatregelen, inclusief de daarvoor benodigde financiën, de komende vijf jaar nodig zijn om de gedefinieerde streefbeelden te bereiken en te handhaven. Deze streefbeelden zijn vertaald in concrete beheeracties, waarmee duidelijk wordt op welke wijze de beheerder invulling geeft aan zijn taak.

Gezien de reikwijdte van het beheer zijn er documenten en instrumenten die nauw verbonden zijn met het beheerplan of daarvan worden afgeleid, bijvoorbeeld toetsen (evaluatie van beheereffecten voor functie waterkeren), leggers, beheerregisters, de keur, informatiesystemen voor programma van maatregelen, bijdrage aan meerjarenbegroting, voortgangs- en verantwoordingsrapportages.

Figuur 1.1 van de Leidraad Toetsen op Veiligheid geeft de relaties weer tussen beheerregister, legger, ontwerp-leidraden en toetsing. Het beheerplan waterkeringen vormt de bindende factor.

Het beheerplan voor waterkeringen richt zich op het documenteren van de stappen, vanaf het vastleggen van beleid en het formuleren van streefbeelden tot het doen van voorstellen voor het uit te voeren pakket aan maatregelen. Gebiedsspecifieke kennis en de samenhang met de ruimte-

lijke ordening krijgen hierin een plaats. Het opstellen van een beheervisie ligt ten grondslag aan het beheerplan. De paragrafen 4.3 t/m 4.5 van de Leidraad Zee- en Meerdijken gaan specifiek op deze onderwerpen in.

Om een beheerplan op te stellen en uit te voeren is ook gebruik nodig van instrumenten als legger, beheerregister en calamiteitenplan en de resultaten van de 5-jaarlijkse toetsing. Het beheerplan vormt als het ware een paraplu, waar meerdere onderdelen onder hangen. Hierdoor wordt het beheerproces transparant en (bij)stuurbaar.

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) heeft in december 1999 een Blauwdruk Beheersplan Waterkeringen [ref. 7] uitgegeven, die als leidraad kan fungeren voor het opstellen van een beheerplan.

Legger en beheerregister

In de vastgestelde Legger is de gewenste en/of de vereiste toestand van de waterkering opgenomen; dit is de norm waaraan de waterkering dient te voldoen. Het beheerregister geeft de actuele toestand van de waterkering weer, zoals tijdens een inspectie of toetsing is geregistreerd.

In de Legger en het beheerregister zijn meer gedetailleerde gegevens vastgelegd van elk onderdeel van de waterkering. Deze gegevens zijn onder andere:

- kaarten met topografische, kadastrale en kabel-/leidinggegevens;
- dwars- en lengteprofielen;
- keurzones;
- opbouw ondergrond;
- detailleringen constructieve elementen (richting, vorm, afmetingen, bijzonderheden);
- administratieve gegevens als naam, status, en type waterkering, dijkkring, sectie- en dijkvakgegevens;
- eigendoms-, pacht- en gebruiksgegevens, beheerovereenkomsten, onderhoudsplichtigen en –verplichtingen, uitgevoerd onderhoud;
- bedienings- en afsluitingsregime kunstwerken;
- de belastingen op de waterkering.

Bijlage 2 van de Blauwdruk Beheersplan Waterkeringen geeft een volledige lijst.

4 Functioneel ontwerp

4.1 Algemeen

Dit hoofdstuk gaat in op het eigenlijke ontwerp van het kunstwerk of de constructie, gezien vanuit het gezichtspunt van de beheerder. De relatie tussen de Leidraad en de bijlagen, die meer zijn bedoeld voor de specialistische ontwerper, komt dan ook met name in dit hoofdstuk naar voren.

De beheerder speelt bij het ontwerp en ook na realisatie van het ontwerp een belangrijke rol. Paragraaf 4.2 gaat daar specifiek op in. Paragraaf 4.3 behandelt de hoofdlijn van een ontwerpproces. Vervolgens beschrijft paragraaf 4.4 het belang van een goede rapportage en elementen die daarin opgenomen moeten zijn. Hierna geeft paragraaf 4.5 een beknopte toelichting van het inhoudelijke ontwerp. De relatie tussen onderhoud en ontwerp is in paragraaf 4.6 belicht. Tenslotte gaat paragraaf 4.7 in op de 5-jaarlijkse toetsing op veiligheid.

4.2 Rol beheerder

De beheerder van het waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie heeft als specifieke taak toe te zien op de veiligheid tegen overstromen. In die hoedanigheid is de beheerder tijdens het realisatie- en instandhoudingsproces continu bij een kunstwerk betrokken, terwijl andere partijen soms maar een beperkte fase meemaken (zoals de planvorming/ontwerp, de realisatie, het gebruik of de sloop). De constante betrokkenheid van de beheerder geeft deze een belangrijke rol in het geheel en niet in het minst bij het ontwerp. In deze paragraaf wordt de rol van de beheerder, toegespitst op de ontwerpfase, nader toegelicht.

Randvoorwaarden en uitgangspunten

De beheerder heeft een belangrijke rol in het aangeven van randvoorwaarden en uitgangspunten, die bij het ontwerp moeten worden aangehouden. Dit zijn onder meer:

- de van toepassing zijnde dijkkringfrequentie;
- aanvullende veiligheidseisen. Bijlage B1 geeft een vertaling van de norm naar eisen;
- de ontwerpwaterstand;
- de planperiode;
- hoogwaterstijging in de planperiode (conform bijvoorbeeld Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, of strenger, conform de Kustnota);
- uitgangspunten op basis waarvan het toelaatbaar instromend volume

water wordt bepaald, zoals de beschikbare komberging;

- binnendijkse waterstanden;
- de wensen of eisen met betrekking tot het bediening en gebruik;
- de wensen of eisen met betrekking tot de beheerinspanning;
- milieu-eisen;
- duurzaamheidseisen. In dit verband wordt ook gewezen op de Leidraad duurzaam ontwerpen grond-, weg- en waterbouw [ref. 8].

Veel van deze zaken zullen in overleg met de ontwerper worden vastgesteld. Paragraaf 4.6 gaat specifiek in op de relatie tussen het ontwerp en het onderhoud van het kunstwerk.

Begeleiding en controle van het ontwerp

De rol van de beheerder van de waterkering in het ontwerpproces is afhankelijk van de functie van het kunstwerk en de instantie die het initiatief genomen heeft. De beheerder zal in ieder geval moeten nagaan of het kunstwerk voldoet aan de waterkerende functie. Paragraaf 4.4 geeft hiervoor richtlijnen.

Tabellen 4.1 en 4.2 in paragraaf 4.4 geven een overzicht van de belangrijkste aspecten met betrekking tot de functie waterkeren en dienen als checklist. De checklist kan per kunstwerk worden aangepast, afhankelijk van de faalmechanismen en grenstoestanden die een rol spelen. Indien een betrouwbaarheidsanalyse is uitgevoerd, kan deze als hulpmiddel hierbij dienen. De tabellen geven na het gereedkomen van het kunstwerk tevens een overzicht van de aangehouden randvoorwaarden en uitgangspunten en de van toepassing zijnde rapportages.

Beheerinspanningen

Naast de controle van het ontwerp moet ook duidelijk zijn welke beheerinspanningen gepleegd moeten worden na realisatie van het kunstwerk om de waterkerende functie in stand te houden. Omdat deze inspanningen deels afhankelijk zijn van het ontwerp, is een tijdige bijdrage van de beheerder gewenst. Zie hiervoor tevens bijlage B6.

Voorbeelden van beheerinspanningen zijn:

1. Gepland onderhoud.
2. Geplande inspecties en controles.
3. Training van personeel voor de bediening van afsluitmiddelen.
4. Inspecties en controles bij hoog- of laagwater, calamiteiten of incidenten.
5. Het sluiten van afsluitmiddelen.

6. Het instandhouden of controleren van randvoorwaarden welke in het ontwerp zijn toegepast, zoals:
 - a. Binnenwaterstand (indien deze beïnvloedbaar is).
 - b. Verkeersbelastingen of andere toevallige belastingen.
 - c. Grondbelastingen.
7. Controle op naleving van de uitgangspunten en procedures welke met betrekking tot het gebruik zijn opgesteld.
8. Het bijhouden van een logboek/archief van het object.

Indien deze activiteiten door derden worden uitgevoerd, zal de beheerder van de waterkering deze willen controleren. Het ontwerp zal hier dan ook rekening mee moeten houden.

De voorwaarden voor het beheer worden niet in één stap in het ontwerp-proces bepaald, maar in feite bij iedere stap en iedere keuze. De beheerder zal daarom bij voorkeur bij het gehele ontwerp-proces betrokken moeten zijn.

4.3 Ontwerpproces

In het algemeen wordt een waterkerend kunstwerk primair ontworpen voor een functie anders dan waterkeren. Voor het ontwerp van een bijzondere waterkerende constructie is meestal de waterkerende functie wel de eerste aanleiding, maar in dat geval zijn er eisen of wensen vanuit andere functies die de bijzondere constructie rechtvaardigen.

Het ontwerpproces begint met het inventariseren van de eisen die aan het kunstwerk worden gesteld, waarbij alle functies in beschouwing worden genomen.

Het is mogelijk dat sommige van de eisen strijdig zijn en tegen elkaar afgewogen moeten worden. Afhankelijk van de diversiteit aan eisen en de kenmerken van de constructie die gekozen wordt, zullen meer of minder van de eisen ingevuld kunnen worden. Het afwegen van de eisen kan daarom deels neerkomen op het afwegen van alternatieven. Nadat gekozen is voor een bepaalde principe-oplossing wordt het programma van eisen vastgesteld. Het is zinvol om hierbij het onderscheid tussen de verschillende functies nog te laten uitkomen. Veelal zal er ook sprake zijn van eisen die elkaar overlappen. Een eis vanuit de ene functie kan bijvoorbeeld al ruimschoots vervuld worden door aan een eis vanuit een andere functie te voldoen. De eis aan de betrouwbaarheid van het bewe-

gingswerk van een schutsluis zal bijvoorbeeld vaak door het dagelijks gebruik worden bepaald. Daarmee kan dan ook voldaan zijn aan de eis die gesteld wordt aan de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen voor de functie waterkeren.

Ook aandachtspunten die betrekking hebben op het toekomstig onderhoud van het kunstwerk, zoals onderhoudskosten en –planning, materialen / onderdelen en de uitvoering van onderhoud en inspecties, dienen te worden opgenomen. Verder moeten eisen worden gesteld aan de rapportage van alle ontwerpkeuzen (zie paragraaf 4.4).

In het kader van deze Leidraad wordt uitsluitend in detail ingegaan op de functie waterkeren. De eisen ten aanzien van deze functie moeten gezien worden als minimale eisen. Indien vanuit een andere functie een zwaardere eis geldt, dan wordt automatisch voldaan aan de eis voor waterkeren. De controle is echter wel noodzakelijk. Tevens is het aan te raden om de eisen voor de waterkerende functie expliciet te blijven benoemen, omdat het beheer vanuit deze functie specifieke eisen stelt ten aanzien van controle en handhaving van de eisen.

Ontwerpproces

Het ontwerpen van een kunstwerk is een veelomvattend proces, afhankelijk van de complexiteit van het kunstwerk. Veelal is het ook een cyclisch proces, waarbij sommige stappen meerdere malen doorlopen worden, hetgeen uiteindelijk leidt tot een optimaal ontwerp. In navolgend ontwerpschema (figuur 4.1) is het blok 'Planvorming / Ontwerp' uit figuur 3.1 nader uitgewerkt en toegelicht.

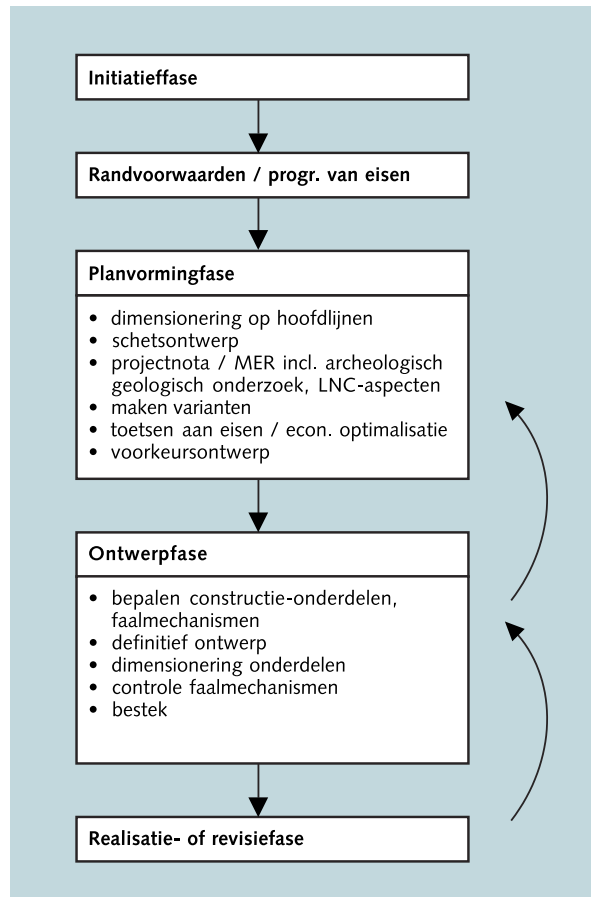
Algemene toelichting ontwerpschema

Het schema is bedoeld als een algemene richtlijn, niet als een dwingende regel. Naast de waterkerende functie zullen ook andere functies aan bod moeten komen. In veel gevallen zal tevens een alternatievenonderzoek plaatsvinden, dat op schetsontwerpniveau kan gebeuren. Een globale dimensionering is echter wel nodig, om een goede afweging tussen de verschillende alternatieven te kunnen maken.

Toelichting per stap:

1. De initiatieffase is de eerste concrete stap in het proces: een probleem of knelpunt is onderkend en wordt nader omschreven. Tevens wordt het kader waarin het probleem zich voordoet, of opgelost moet worden, geschetst.
2. In de fase daarna worden de eisen, randvoorwaarden en uitgangspun-

Figuur 4.1
Stappen in het ontwerp-
proces



ten voor het ontwerp nader benoemd en uitgewerkt.

3. In de planvormingfase vindt een afweging op hoofdlijnen plaats. Hierin wordt tevens een schetsontwerp, of meerdere schetsontwerpen, opgesteld. In een schetsontwerp worden onder andere de functionele onderdelen benoemd. De planvormingfase wordt afgesloten met een voorkeursalternatief.
4. Het voorkeursalternatief wordt in de ontwerpfase verder uitgewerkt.
 - a. Aan de hand van het schetsontwerp (voorkeursalternatief) worden de van toepassing zijnde faalmechanismen benoemd. Afhankelijk van de faalmechanismen kan het nodig blijken om constructieonderdelen toe te voegen. De opsomming van de constructieonderdelen is de basis voor het ontwerp. De van toepassing zijnde faalmechanismen zijn veelal afhankelijk van de constructiedelen die aanwezig zijn en omgekeerd kunnen faalmechanismen ertoe leiden dat constructieonderdelen worden toegevoegd. Indien sprake is van een bijzondere waterkerende constructie zal veelal een faalmechanisme één van de uitgangspunten zijn.
 - b. Na de globale dimensionering worden de afmetingen van de diverse

onderdelen duidelijk. In dit stadium is het nuttig om na te gaan of een functieverhuizing van een constructieonderdeel naar een ander onderdeel zinvol is. Hiermee kan een optimalisatie in het ontwerp worden bereikt. Uitvoerings-, onderhouds- en/of beheeraspecten, die een belangrijke rol kunnen spelen bij de keuze tussen alternatieven, dienen in dit stadium eveneens beschouwd te worden.

- c. Na de optimalisatie en controle van het ontwerp wordt het definitief ontwerp verder uitgewerkt en wordt een bestek opgesteld.
- 5. De uitvoering en revisie is geen onderdeel van het ontwerp als zodanig. Deze fase wordt hier toch genoemd, omdat begeleiding tijdens de uitvoering van belang kan zijn voor het verkrijgen van een kwalitatief goede constructie. Tijdens de uitvoering kunnen bovendien onderdelen gewijzigd worden. De deelontwerpen zullen dan tevens gewijzigd moeten worden. Na voltooiing van de uitvoering worden de gewijzigde aspecten in de tekeningen opgenomen en worden de aanvullende of gewijzigde dimensioneringsberekeningen of -overwegingen in een rapportage opgenomen.

4.4 Rapportage

De rapportage van het ontwerp en ook van de eventuele detailleringen en wijzigingen die in de besteksfase en de uitvoering aan de orde komen, vormt een belangrijk beheerdocument. De informatie is nodig bij toetsingen, bij wijzigingen van de uitgangspunten of randvoorwaarden, bij eventuele wijzigingen aan het kunstwerk of bij wijzigingen in de functie(s) van het kunstwerk.

Het ontwerpen van een kunstwerk is vaak een multidisciplinaire activiteit. Bovendien zijn veelal bij het opstellen van uitgangspunten of van een betrouwbaarheidsanalyse andere partijen of personen bij het ontwerp betrokken dan bij de verdere uitwerking. Met name bij kunstwerken is het daarom van belang om voldoende aandacht aan de rapportage te geven. Nagegaan moet worden of alle onderdelen in voldoende mate gerapporteerd zijn en of de rapportages op elkaar aansluiten. Tabellen 4.1 en 4.2 geven een eerste checklist hiervoor. De (eind)rapportage dient compleet en samenhangend te zijn. Bij kunstwerken is het zinvol om een coverrapportage op te stellen. De coverrapportage bevat een overzicht van de diverse deelrapportages en hun samenhang.

In hoofdlijnen moet de rapportage tenminste de volgende aspecten bevatten (deels overlappend met de legger/beheerregister):

- uitgangspunten en randvoorwaarden, waaronder de van toepassing zijnde veiligheidsnormen en belastingen;
- overzicht van faalmechanismen en grenstoestanden, per constructie-onderdeel en voor het kunstwerk als geheel;
- toegepaste rekenmethoden en de uitwerking daarvan;
- resultaten in termen van afmetingen en materialen;
- voorwaarden voor het beheer;
- functionele keuzen;
- gebruiksduur, ontwerplevensduur, verwachte onderhoudskosten.

De rapportage van het ontwerp moet tevens de van toepassing zijnde uitvoeringsvoorschriften, én indien van toepassing de maatgevende grenstoestanden tijdens de uitvoering bevatten.

Na realisatie van het kunstwerk moeten tevens de volgende aspecten gerapporteerd worden:

- revisietekeningen en meetrapporten;
- resultaten van keuringen en controles;
- eventuele aanpassingen op de ontwerpberekeningen of andere aspecten welke tijdens het ontwerp zijn gerapporteerd.

Tenslotte is het in de gebruiksfase nuttig om aanpassingen periodiek en systematisch bij te houden. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van een logboek, waarin tevens de resultaten van inspecties en controles worden vermeld.

Tabel 4.1
Basisgegevens van het ontwerp

Onderdeel	Rapportage (rapport, tekening e.d.)
Ontwerpfrequentie dijkkring ¹⁾	
MHW ¹⁾	
Toegepaste ontwerpwaterstand ²⁾	
Levensduur/planperiode	
Veiligheidseis voor het kunstwerk ³⁾	
Uitwerking volgens eenvoudige, gedetailleerde of geavanceerde methode ⁴⁾	
Overige functies	

noten:

¹⁾ De ontwerpfrequentie volgens de *Wet op de Waterkering* voor de dijkkring waar het kunstwerk onderdeel van uitmaakt en de daarbij behorende MHW.

²⁾ De toegepaste ontwerpwaterstand kan afwijken van het MHW, bijvoorbeeld in verband met een toeslag voor hoogwaterstand, seiches, onzekerheden in het MHW, etc.

³⁾ De eis betreffende de faalfrequentie is gerelateerd aan de ontwerpfrequentie van de dijkkring. Indien van toepassing kan deze worden opgesplitst in eisen voor de kerende hoogte, betrouwbaarheid van de sluiting en sterkte/stabiliteit. Zie bijlage B1 voor meer informatie.

⁴⁾ Volgens bijlage B1, combinaties zijn mogelijk.

Onderdeel	Bijlage	Uitgewerkt (ja/nee/n.v.t)	Rapportage
Belastingen (per constructieonderdeel)	B4 en B5		
Overgangs- en aansluitconstructies (mogelijk meerdere per constructie- onderdeel)	B4		
Overlopen/overslag	B2		
Betrouwbaarheid sluitingsoperatie	B3		
Piping	B4		
Sterkte constructieve onderdelen	B4		
Stabiliteit (macrostabiliteit, kanteleven- wicht, horizontaal evenwicht)	B4		
Fundering	B4		
Uitvoeringsaspecten	--		
Beheeraspecten/-beheervoorschriften onder andere: • onderhoudsvoorschriften • gebruiksvoorschriften • legger en beheerregister • hoogwaterdraaiboek • calamiteitenplan	B6		
Revisiegegevens ('as built')	--		

Tabel 4.2
Overzicht uit te werken
aspecten

4.5 Toelichting ontwerp

Op basis van hetgeen gesteld is in de Wet op de waterkering wordt het ontwerp uitgewerkt op basis van de 'dijkvak overbelastingsbenadering'. Dit komt erop neer dat per dijkvak, of in dit geval per constructie, op het voldoen aan de eisen aan kerende hoogte, sterkte/stabiliteit en de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen wordt gecontroleerd.

Andere benaderingen, die leiden tot een veiliger ontwerp, zijn in principe toegestaan zolang dit maatschappelijk wordt aanvaard.

In bijlage B1 is de veiligheidsfilosofie verder uitgewerkt. Figuur B1.1 geeft een eenvoudig schema, waarin de samenhang van de bovenvermelde drie aspecten is gegeven.

De drie eisen zijn gegeven in de vorm van kansen waaraan voldaan moet worden. De uitwerking van deze eisen in een ontwerp kan een gecompliceerd proces zijn. Voor de meest voorkomende omstandigheden zijn de

eisen daarom uitgewerkt in eenvoudig te hanteren methoden op basis van materiaal- en belastingfactoren. Dit wordt een deterministische methode genoemd. In de bijlagen is met name deze methode uitgewerkt. Hiermee wordt op relatief eenvoudige wijze een veilig ontwerp gerealiseerd. Omdat de methode niet op een specifieke situatie is toegespitst, kan enige overdimensionering optreden. In gevallen waarin een scherp ontwerp nodig is kan een probabilistische methode worden toegepast, met veelal een betrouwbaarheidsanalyse als basis.

Een volledig probabilistisch ontwerp vergt een veel grotere inspanning dan een ontwerp dat is gebaseerd op de deterministische benadering. Een probabilistisch ontwerp wordt daarom alleen toegepast als de grotere inspanning, die nodig is voor het ontwerp, opweegt tegen de voordelen van een meer uitgekiend ontwerp. Bij zeer complexe of omvangrijke kunstwerken zal men niet altijd de keus hebben. De deterministische methode kent beperkingen, waardoor men in voorkomende gevallen de meer uitgebreide benadering zal moeten toepassen.

Er zijn verder diverse tussenvormen mogelijk, die veelal als verfijningen van de deterministische methode kunnen worden aangemerkt. Hiermee is het mogelijk om bepaalde aspecten te optimaliseren. De bijlagen geven methoden op drie niveaus:

- eenvoudig;
- gedetailleerd;
- geavanceerd (veelal verwijzingen naar literatuur).

4.6 De rol van onderhoud in het ontwerpproces

Tijdens het ontwerp van een waterkerend kunstwerk worden keuzes gemaakt, die invloed hebben op het toekomstig onderhoud. Door bij het maken van ontwerpkeuzes bewust rekening te houden met de consequenties voor het onderhoud, ontstaat een onderhoudsbewust ontwerp. Dat onderhoud een belangrijke rol in het ontwerpproces speelt wordt in deze paragraaf beschreven. Bijlage B6 gaat hier verder op in. In dit verband wordt ook gewezen op de Leidraad duurzaam ontwerpen grond-, weg- en waterbouw [ref. 8]

Onderhoudsbewust ontwerpen met oog op de kosten

Tijdens het ontwerp van een kunstwerk worden de beheer- en onderhoudsmaatregelen en de bijbehorende planning en kosten bepaald, die tijdens de levensduur van de constructie nodig zijn. Hiervoor dienen tij-

dens het ontwerp duidelijke keuzes te worden gemaakt ten aanzien van het verwachte onderhoud van een waterkerend kunstwerk. Dit kan ook inhouden dat er gekozen wordt voor een goedkope uitvoering van een ontwerp en veel onderhoud gedurende het gebruik.

Ook worden tijdens het ontwerp de kosten voor eventuele aanpassingen in een latere fase bepaald. Stelregel is dat een goed ontwerp zijn geld altijd weer oplevert. Een kleine verbetering van een ontwerp kan een grote besparing opleveren tijdens de levensduur.

Onderhoudsbewust ontwerpen met oog op de beheerbaarheid

Tijdens het ontwerp wordt de omgeving gecreëerd waarbinnen de toekomstige onderhoudswerkzaamheden moeten worden vervuld. Tijdens onderhoudswerkzaamheden zal de waterkerende functie moeten worden vervuld en moet de veiligheid gewaarborgd zijn. Het opnemen van schotbalkspanningen in spuisluizen is hiervan een sprekend voorbeeld.

Verder moet bij het ontwerp van de (hoofd)afmetingen van een constructie rekening worden gehouden met de mogelijkheden om in de toekomst onderhoud uit te voeren. Is er voldoende ruimte om de onderdelen te vervangen of te onderhouden? Denk hierbij bijvoorbeeld aan de ruimte die een kraan nodig heeft voor het wisselen van sluisdeuren of de mogelijkheden om onderhoud uit te voeren aan onderdelen die onder water staan. Daarnaast is van belang of een onderdeel in de toekomst (tijdens de levensduur) voldoende beschikbaar blijft, zodat een nieuw onderdeel eenvoudig te verkrijgen is.

Verwachtingen toetsen

Door tijdens het ontwerp verwachtingen uit te spreken en vast te leggen, die betrekking hebben op onderhoud, kunnen deze worden getoetst tijdens de levensduur van het kunstwerk. Voorbeeld hiervan is kennis over verouderingsgedrag, interventieniveaus en onderhoudsintervallen. Bij afwijkingen kan het onderhoudsbeleid worden bijgesteld. Op deze manier wordt de kennis van de beheerder en (indien gemeld) de ontwerper over het gedrag van (onderdelen van) het kunstwerk en het onderhoud vergroot. Deze ervaring is niet alleen van belang voor het kunstwerk zelf, maar ook voor andere te ontwerpen, bouwen of aan te passen kunstwerken.

4.7 Veiligheidstoetsing

4.7.1 Waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies

Een beschrijving van de beoordeling van een kunstwerk in het kader van de 5-jaarlijkse toetsing op veiligheid wordt hier niet in detail gegeven. Wel wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen de toets en een ontwerp. Voor een gedetailleerde beschrijving van de veiligheidstoets wordt verwezen naar de Leidraad Toetsen op Veiligheid.

Het belangrijkste verschil tussen een ontwerp en de toets is de referentieperiode. Een ontwerp wordt voor een langere periode opgesteld. Deze zogenaamde planperiode is vaak gelijk aan 100 jaar. Bij de 5-jaarlijkse toets wordt slechts 5 jaar vooruit gekeken. Dit geeft een verschil tussen de ontwerpwaterstand en het toetspeil, omdat bij een toets slechts in veel mindere mate met hoogwaterstijging rekening hoeft te worden gehouden. Overigens kán het toetspeil wel gelijk zijn aan de ontwerpwaterstand, afhankelijk van de locatie en ontwerpuitgangspunten.

Bij de toets kunnen altijd de ontwerpregels volgens deze Leidraad gebruikt worden om een constructie te beoordelen. Deze geven in alle gevallen een veilige benadering. De Leidraad Toetsen op Veiligheid geeft voor de beoordeling van de kerende hoogte en van de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen een methode die in grote lijnen overeenkomt met de methode die in deze Leidraad wordt gegeven voor die aspecten. Voor de beoordeling van de sterkte en stabiliteit geeft de Leidraad Toetsen op Veiligheid een eenvoudige methode, voor zover de belastingen en veiligheidseisen niet al te veel zijn veranderd sinds het ontwerp.

Bij de toets speelt in alle gevallen ook de eventuele achteruitgang in sterkte of stabiliteit een rol. Voor het uitvoeren van de toets zijn daarom altijd de onderhouds- en controlegegevens nodig. Het is aan te bevelen om deze gegevens in een logboek vast te leggen. Ook eventuele veranderingen na de bouw komen hierin. Als ondersteuning hiervoor kan een beheer- of objectarchief worden opgezet.

4.7.2 Overige objecten

De toets op veiligheid met betrekking tot overige objecten kent een eenvoudige beoordeling, waarbij geheel andere uitgangspunten met betrekking tot de veiligheidseisen een rol spelen dan bij het plaatsen van nieuwe objecten. Bij het plaatsen van nieuwe objecten zal vrijwel altijd de eis gesteld worden dat de veiligheid niet verandert, zonedig en zomogelijk rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen. Bij de eenvoudige

toets ligt veel meer de nadruk op het falen van de waterkering bij de huidige hydraulische randvoorwaarden, waarmee een versoepeling van de veiligheidseis wordt gegeven. Hierbij speelt het beoordelingsprofiel een belangrijke rol. In de Leidraad Toetsen op Veiligheid is dit verder uitgewerkt.

Dit hoofdstuk schenkt aandacht aan randvoorwaarden en criteria bij het uitvoeren van grootschalige werkzaamheden ten behoeve van de aanleg, groot onderhoud, aanpassingen of sloop van kunstwerken en objecten.

5 Uitvoering

5.1 Seizoensrandvoorwaarden

Voor het werken aan primaire waterkeringen geldt een 'gesloten seizoen' van 15 oktober tot 15 maart voor keringen buiten het getijgebied, en van 1 oktober tot en met 15 maart voor keringen binnen het getijgebied. Een en ander is geregeld in de Standaard RAW Bepalingen 2000 [ref. 9], artikel 22.02.07 t/m 22.02.10. Binnen het gesloten seizoen mogen werkzaamheden uitsluitend worden uitgevoerd onder de voorwaarde dat het waterkerend vermogen van de waterkering verzekerd blijft.

Buiten het gesloten seizoen kan en mag er onder bepaalde omstandigheden aan de kering worden gewerkt. In de verschillende bouwfasen en overgangen tussen bouwfasen dienen de nodige veiligheidsmaatregelen te worden getroffen om een voldoende waterkerend vermogen te waarborgen, waarbij dan mogelijk bij vaststelling van te nemen veiligheidsmaatregelen kan worden uitgegaan van lagere hydraulische belastingen. Deze zijn voor de zomerperiode lager dan voor de winterperiode. Eisen kunnen onder andere betrekking hebben op:

- hoogte, sterkte en stabiliteit van de (tijdelijke) waterkering;
- inspectie en monitoring;
- aanwezigheid noodvoorzieningen (noodmaterialen, reserveonderdelen e.d.);
- overligmaatregelen in het gesloten seizoen;
- regeling alarmering en daadwerkelijke uitvoering noodmaatregelen, ook in vakantieperioden;
- voorkomen van (uitvoerings)schade aan objecten.

De Leidraad Zee- en Meerdijken geeft inzicht in de waterstanden, waarmee tijdens de uitvoering van werken aan zeedijken rekening moet worden gehouden.

Naast het genoemde gesloten seizoen zijn er andere functies, waarvoor afstemming met de uitvoering gewenst is, zoals het recreatie- en broedseizoen.

5.2 Specifieke selectie- en gunningscriteria

De uitvoering van een waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie in een waterkering is zo specifiek dat er, naast de gebruikelijke selectie- en gunningscriteria, aanvullende eisen worden gesteld. Hiervoor bieden bijvoorbeeld de Uniforme Administratieve Voorwaarden voor de uitvoering van werken 1989 (UAV) mogelijkheden om geschiktheids- en ervaringseisen te stellen. Zo kan het nodig zijn dat de inschrijver moet kunnen aantonen dat hij ervaring heeft met het uitvoeren van grootschalige waterbouwkundige betonconstructies, of het trillingsvrij aanbrengen van funderingen of damwanden. Daarnaast kan worden verlangd dat hij aantoonst te beschikken over voldoende materieel om het werk op adequate wijze, dit vooral ook in relatie tot de bouwtijd, te kunnen uitvoeren.

De specifieke selectie- en gunningscriteria worden gesteld om risico's in verband met de veiligheid en schade aan het kunstwerk of waterkering te beperken.

5.3 Afstemming tussen ontwerp, realisatie en gebruik

Realisatie van een kunstwerk of constructie kan tijdens de uitvoering hinder voor de aan- en omwonenden met zich meebrengen, bijvoorbeeld doordat de bereikbaarheid van de aanwezige panden bemoeilijkt wordt. Vaak zullen beperkingen aan wegverkeer en scheepvaart worden gesteld. Transport van materiaal en materieel dient zorgvuldig te gebeuren. Onderkenning hiervan in de ontwerpfase is een pré voor de uitvoering.

Tijdens de aanleg kan tevens hinder ontstaan als gevolg van geluids- en trillingsoverlast en door het gebruikte materieel/materiaal. Uitvoering van werken kan leiden tot schade, zoals bijvoorbeeld zettingschade of scheurvorming aan panden. Een doordacht ontwerp voorziet in het zoveel mogelijk uitsluiten van mogelijke schades. Tevens is het verstandig om een monitoringsprogramma op te zetten, waarbij het zettingsproces door middel van vaste meetpunten (zettingsboutjes) in panden wordt gevolgd. Bouwkundige opnames leggen de toestand van bebouwing vóór, tijdens en na de werkzaamheden vast.

Het zorgvuldig vastleggen van het gehele realisatieproces is een eerste vereiste voor de daarop volgende gebruiksfase. De afwijkingen tussen ontwerp en uiteindelijke realisatie zullen in revisies moeten worden vastgelegd.

5.4 Grondverwerving

Ten behoeve van aanleg of aanpassing van een constructie, inclusief benodigde opslag- of depotruimte voor materieel en bouwmaterialen, is overeenstemming nodig met de eigenaar van het betrokken perceel over een vergoeding voor het tijdelijke gebruik hiervan of eventuele aankoop. Onderhandelingen hierover kunnen veel tijd in beslag nemen. Het 'in der minne' verwerven heeft de voorkeur boven de ultieme variant 'onteigening van de percelen/opstallen'.

Indien de beheerder van de waterkering niet de beheerder of eigenaar is van de betreffende constructie zal specifiek voor de waterkerende functie een juridische overeenkomst moeten worden gesloten om de waterkerende functie te kunnen garanderen.

Het beheer omvat het totaal van activiteiten om te waarborgen dat de functies van de waterkering kunnen worden vervuld. Paragraaf 3.4 geeft het inzicht in de bijbehorende beheercyclus. Hierin is tevens een aantal beheerinstrumenten behandeld. In aansluiting hierop beschrijft paragraaf 6.1 het inspectie- en onderhoudsplan. Vervolgens gaat paragraaf 6.2 in op het bedieningsplan. Tenslotte beschrijft paragraaf 6.3 het calamiteitenplan.

6.1 Inspectie- en onderhoudsplan

Alle informatie omtrent het dagelijks beheer van een kunstwerk is in een beheerplan vastgelegd. Het beheerplan is het instrument voor de voortdurende controle en terugkoppeling naar de gestelde functies.

Een belangrijk onderdeel van het dagelijks beheer zijn de inspectie- en onderhoudswerkzaamheden. Om deze werkzaamheden uit te kunnen voeren binnen het kader dat geschetst wordt door de beheervisie, is een onderhoudsplan nodig.

De beheerder kan ervoor kiezen het onderhoudsplan zelf op te stellen of de ontwerper/constructeur of uitvoerder opdracht te geven om bij het opleveren van het kunstwerk ook een onderhoudsplan op te leveren. De opdracht voor het opstellen van zo'n plan wordt als volgt geformuleerd:

Stel een verantwoord inspectie- en onderhoudsplan op, dat gericht is op het optimaliseren van de instandhoudingskosten gegeven de functie waterkeren met de daarbij behorende randvoorwaarden over de gehele levensduur van het waterkerende kunstwerk.

De basis voor het onderhoudsplan bestaat uit de beheervisie en de keuzes gemaakt tijdens het ontwerp en de aanleg, die een relatie hebben met het (toekomstig) onderhoud. In het onderhoudsplan worden de ontwerpkeuzes vertaald naar specifieke onderhoudsmaatregelen, waarbij rekening wordt gehouden met locatie-specifieke omstandigheden.

Een onderhoudsplan van een kunstwerk bestaat in ieder geval uit:

- een beschrijving van het kunstwerk;
- de randvoorwaarden en eisen;
- een beschrijving van de onderdelen;
- de onderhoudsinstructies;
- de onderhouds- en inspectieplanning;
- een kostenonderbouwing (zie ook bijlage B6, voor informatie over de aanvraag en de toekenning van budgetten).

Hierna wordt verder ingegaan op de onderhouds- en inspectieplanning; de overige onderdelen zijn verder uitgewerkt in bijlage B6 in het gedeelte 'Onderhoudsplan'.

De onderhouds- en inspectieplanning geeft de beheerder inzicht in de maatregelen die nodig zijn in de komende planperiode, en de bijbehorende budgetten. In de planning dienen alle benodigde onderhouds- en inspectiewerkzaamheden voor de middellange termijn (10 tot 20 jaar) te zijn opgenomen. Te plannen maatregelen zijn:

1. De inspecties en beoordeling van de toestand van het kunstwerk (inclusief alle bewegende delen), de overgangsconstructies en maaiveld of bodemhoogten aansluitend aan het kunstwerk. De inspecties en beoordeling zijn bijvoorbeeld de verplichte vijfjaarlijkse toetsing op veiligheid, de technische inspecties en de jaarlijks uit te voeren inspecties of schouw, waarmee inzicht wordt gekregen in de actuele toestand van de waterkering.
2. De onderhoudswerkzaamheden.

De intervallen waarmee de maatregelen worden gepland, zijn in eerste instantie gebaseerd op de inzichten van de beheerder, ontwerper en uitvoerder (of fabrikant). Bij elke inspectie en toetsing op veiligheid wordt gekeken of het verouderingsgedrag van het onderdeel overeenkomt met het verwachte gedrag. Hieruit worden conclusies getrokken over de in de eerstkomende jaren geplande onderhoudsmaatregelen (planning en kosten). De maatregelset is dus afhankelijk van de resultaten van de inspecties of toetsing. Als onderhoud, vervanging of aanpassing nodig is, wordt een besteksinspectie uitgevoerd en een plan van aanpak opgesteld, de hiervoor benodigde gelden begroot en het budget aangevraagd.

De onderhouds- en inspectieplanning moet regelmatig worden aangepast. Immers, de planperiode schuift elk jaar een jaar op, het kunstwerk veroudert of loopt schade op, men ontwikkelt nieuwe inzichten op het gebied van onderhoud en in een enkel geval zal de functie van het kunstwerk wijzigen. De planning is dus een dynamisch onderdeel van het onderhoudsplan.

Niet moet worden vergeten dat er, naast de geplande onderhouds- en inspectiemaatregelen, allerlei regelmatig terugkerende werkzaamheden zijn die niet worden opgenomen in de planning, maar die wel aanspraak maken op de benodigde budgetten. Hieronder vallen bijvoorbeeld het dagelijks beheer en onderhoud van het kunstwerk en het oefenen van de mobilisatie- en bedieningsprocedures.

6.2 Bedieningsplan

In het bedieningsplan zijn taken, bevoegdheden en verantwoordelijkheden vastgelegd met betrekking tot de bediening van het kunstwerk.

De in het bedieningsplan opgenomen procedures zullen vooral betrekking hebben op het sluiten van keringen bij vastgestelde hoogwaterstanden en calamiteiten. Verschillende typen keringen hebben verschillende sluitprocessen. Er is een groot verschil tussen de regelmatige bediening van keermiddelen in keringen met een waterregulerende en/of scheepvaartfunctie en de bediening van keermiddelen, die normaal open staan, maar bij extra hoge waterstanden gesloten worden, zoals stormvloeddeuren, coupures, keersluizen e.a.

Bijlage B3 gaat in op de betrouwbaarheid van het sluitingsproces. Voor de beoordeling hiervan is de kans op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume buitenwater een belangrijk uitgangspunt. Bijlage B3 geeft handreikingen voor de controle van het ontwerp van een kunstwerk, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde beoordelingsmethode.

Bijlage B3.6 geeft aanbevelingen voor sluitingsprocedures. Deze aanbevelingen hebben betrekking op:

- het opstellen van procedures;
- het verbeteren van de ergonomie;
- menselijke fouten observeerbaar en herstelbaar maken;
- het trainen van menselijk handelen;
- controle door techniek.

De procedures dienen met name te behandelen:

- het hoogwater waarschuwingssysteem;
- mobilisatie;
- sluiting;
- bedrijfszekerheid van de sluitingsmiddelen.

In de Leidraad Toetsen op Veiligheid wordt ingegaan op het toetsen van het bedieningsproces. Van groot belang is dat alle betrokkenen op de hoogte zijn van de procedures. Hiernaast dient ook aandacht te worden besteed aan training en opleiding (waaronder het oefenen van de mobilisatie- en bedieningprocedures). Het geheel moet vanuit de kwaliteitszorg worden opgezet en als doel hebben: 'evenwicht te scheppen tussen mensen en techniek, zodat geen van beiden het aantal storingen domineert'.

6.3 Calamiteitenplan

De Provinciale Verordening Waterkeringen, die gebaseerd is op de Wet op de waterkering, verplicht de beheerder een calamiteitenplan voor de waterkeringen op- en vast te stellen. In het calamiteitenplan dient rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van kunstwerken en objecten in de waterkering.

Het gaat hierbij enerzijds om calamiteiten die direct leiden tot falen van een kunstwerk of de dijk ter plaatse van een object, maar anderzijds ook om het effect van de aanwezigheid van kunstwerken en objecten in het geval er een calamiteit optreedt die leidt tot falen elders in de dijkkring.

Aanleghoogte	Kerende hoogte van de constructie onmiddellijk na het gereedkomen ervan
Beheer	Het geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen
Beheersregister	Documenten waarin de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand van de (primaire) waterkering nader zijn omschreven
Betrouwbaarheid	Het vermogen een functie te vervullen in een bepaalde omgeving gedurende een van tevoren bepaalde periode, belastingswisselingen of gebeurtenissen
Bevoegd gezag	De overheidsinstantie die bevoegd is het MER-plichtige besluit te nemen (bij dijkversterking de provincie)
Bezwijken	Het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van een constructie zodanig dat de samenhang daarvan verloren gaat
Bezwijkmechanisme	De wijze waarop een constructie bezwijkt (bijvoorbeeld breuk, piping)
Bijzondere waterkerende constructie	Waterkerende constructie die niet geheel of geheel niet uit grond zijn opgebouwd zoals dikmuren, kistdammen en damwanden
Commissie MER	Onafhankelijke commissie die het bevoegd gezag adviseert over de richtlijnen voor een op te stellen MER en die een opgesteld MER toetst op juistheid en volledigheid
Contante Waarde	Naar het huidige kostenniveau teruggerekende toekomstige kosten
Coupure	Onderbreking in de waterkering voor de doorgang naar de stad of veerpont of de doorvoer van een (water)weg of spoorweg die bij hoge standen afsluitbaar is
Decompositie Dijkkringgebied	Verdeling van een kunstwerk in onderdelen Gebied dat door een stelsel van waterkeringen, of hoge gronden, beveiligd moet zijn tegen overstrooming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of een combinatie daarvan

Dijktafelhoogte	De minimaal vereiste kruinhoogte van de (gesloten) kerende constructie tijdens de planperiode
Falen	Het niet meer vervullen van de functie, ofwel het overschrijden van een grenstoestand. Onderscheid wordt gemaakt in uiterste grenstoestanden (leidend tot overstroming) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (leidend tot overlast en schade, maar nog niet tot overstroming)
GAO	Gebruiksafhankelijk onderhoud, ook wel tijds- of belastingsafhankelijk onderhoud genoemd. Onderhoud dat wordt uitgevoerd na een bepaalde leeftijd, gebruiksduur of belasting (ongeacht de conditie van het onderdeel op dat moment)
Golfoploop	De hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt (de 2% golfoploop wordt door 2% van de golven overschreden)
Golfoverslag	Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat
Interventieniveau	De conditie van een onderdeel bij overschrijding waarvan onderhoud dient te worden uitgevoerd
Kerende Hoogte	De daadwerkelijke, momentane hoogte van het gesloten kunstwerk. De minimaal vereiste kerende hoogte is gelijk aan het MHW vermeerderd met de op dat moment minimaal vereiste waakhoogte
Kruin	Het hoogste punt van de waterkerende constructie
Kwel	Het uittreden van grondwater onder invloed van een waterstandsverschil over een kering
Legger	Document waarin is omschreven waaraan de (primaire) waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingsgrenzen worden weergegeven
Levensduurverlengend onderhoud	Onderhoud waarmee de levensduur van een onderdeel wordt verlengd (b.v. smeren van mechanische onderdelen en het bijwerken van de conservering van sluisdeuren)
MER	Milieueffectrapport
Maatgevende Hoogwaterstand	(MHW) Ontwerppeil volgens de norm van art. 3.2 van de Wet op de waterkering c.q. de waterstand die als uitgangspunt wordt genomen voor het ontwerpen van primaire waterkeringen

NAP	Normaal Amsterdams Peil. Hoogte ten opzichte van het 'Amsterdams Peil', de gemiddelde zomervloedstand van het IJ voor Amsterdam toen dit nog in vrije verbinding stond met de Zuiderzee
Normfrequentie of norm	Overschrijdingsfrequentie van Maatgevend Hoogwater. Deze is per dijkkring vastgelegd in de Wet op de waterkering
Onderhoud	Het geheel van activiteiten die tot doel hebben een object in een technische staat te houden of terug te brengen, die nodig wordt geacht voor de door het object te vervullen functie(s)
Open keerhoogte	De kerende hoogte van een waterkering met beweegbare afsluitmiddelen bij open afsluitmiddel, danwel de kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem wanneer dit bij open afsluitmiddel in directe verbinding staat met het buitenwater
Open keerpeil (OKP)	Buitenwaterstand welke bij open afsluitmiddel nog juist niet tot een ontoelaatbaar instromend volume buitenwater leidt
Openingspeil	Waterstand waarbij, na een hoogwater, de afsluitmiddelen van een waterkering mogen worden geopend
Overbelasting	Treedt op als het geldende overslagcriterium (maximaal toelaatbaar debiet over de kering) wordt overschreden
Overlopen	Het verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de waterstand in de rivier hoger is dan de kruin.
Overschrijdingsfrequentie	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt en overschrijdt
Piping	Het verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt
Planperiode	Periode (voor waterkerende constructies meestal 100 jaar) waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering
Preventief onderhoud	Gebruiks- en toestandsafhankelijk onderhoud (GAO en TAO)

Primaire waterkering	Waterkering die beveiliging biedt tegen overstrooming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit, ofwel voor een dijkkringgebied is gelegen
Redundantie	Meervoudige uitvoering van een onderdeel, zodat na falen van één onderdeel de functie door een ander onderdeel wordt overgenomen
SAO	Storingsafhankelijk onderhoud, ook wel correctief of curatief onderhoud genoemd. Onderhoud dat wordt uitgevoerd nadat is geconstateerd dat het onderdeel niet meer functioneert
Signaleringsmoment	Moment waarop een dreigende overschrijding van OKP wordt onderkend, waarna waarschuwingen worden verzonden naar bedienend en beslissend personeel
Signaleringspeil	Buitenwaterstand bij overschrijding waarvan de mobilisatiefase ingaat, en het bedienend en beslissend personeel in staat van paraatheid worden gebracht. Bij vaststelling van de marge tussen signaleringspeil en sluitpeil moet rekening zijn gehouden met de stijgsnelheid van het buitenwater en de tijd benodigd om de bemanning op de gewenste plaatsen te krijgen
Significante golfhoogte	Gemiddelde van de hoogste 33% van de golven in een golfveld
Sluittijdstip	Moment waarop met de eigenlijke sluiting moet worden begonnen
Sluitpeil	Buitenwaterstand waarbij met de eigenlijke sluiting moet worden begonnen. Bij vaststelling van de marge tussen sluitpeil en OKP dient rekening te worden gehouden met de stijgsnelheid van het buitenwater en de tijd benodigd voor de sluiting. Voorts dient rekening te worden gehouden met de omstandigheden waarbij de kering nog kan worden gesloten (i.v.m. stroming)
TAO	Toestandsafhankelijk onderhoud. Onderhoud dat wordt uitgevoerd nadat de conditie van een onderdeel onder een bepaald niveau is gekomen (het interventieniveau)
Vast onderhoud	Onderhoudswerkzaamheden, die regelmatig (bijvoorbeeld meerdere malen per jaar) worden uitgevoerd

Variabel onderhoud	Onderhoudswerk dat slechts enkele malen tijdens de levensduur worden uitgevoerd
Waakhoogte	De actuele hoogte van een kruin van een waterkering boven het MHW
Waterkerende kunstwerken	Kunstwerken, die onderdeel uitmaken van een waterkering of de waterkering vervangen, maar worden gemaakt ten behoeve van een andere (utilitaire) functie, die de waterkering kruist (zoals schutten en spuien)
Waterstandverlooplijn	Verloop van de stijging, stagnatie en daling van het buitenwater bij maatgevende omstandigheden. Aanbevolen wordt om bij de vaststelling van de sluitingsprocedure zowel een representatief snel als een representatief langzaam waterstandverloop te beschouwen
Zetting	Daling van het maaiveld, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting

De trekkers van de verschillende teksten zijn

Leidraadtekst:	Marco Veendorp en Hans Niemeijer (Arcadis)
B1, veiligheidsfilosofie:	Martin van der Meer, Jaap Stoop (Fugro) en Ron Beem (Bouwdienst RWS)
B2, kerende hoogte:	Jentsje van der Meer (Infram)
B3, sluitingsoperatie:	Ton Vrouwenvelder (TNO-Bouw)
B4, sterkte en stabiliteit:	Martin van der Meer, Jaap Stoop (Fugro) en Ron Beem (Bouwdienst RWS)
B5, golfbelasting:	Harrie Kuijper (Arcadis)
B6, onderhoud:	Nicolien Vrisou van Eck (HKV lijn in water)
B7, tunnels en pijpleidingen:	Harry Schelfhout (Provincie Zuid-Holland) en Peter The (DWW RWS)
B8, voorbeeld keersluis:	Richard Pater (Witteveen + Bos)
B9, voorbeeld schutsluis:	Richard Pater (Witteveen + Bos)

TAW-begeleidingsgroep, bestaande uit:

- A. de Koning, voorzitter (waterschap IJsselmonde)
- R.C.A. Beem, secretaris (Bouwdienst RWS)
- R. Gajadhar, secretaris (Bouwdienst RWS)
- A.P. de Looff (DWW RWS)
- M.T. van der Meer (Fugro Ingenieursbureau B.V.)
- F.J. Remery (Bouwdienst RWS)
- H.G. Voortman (TU-Delft)
- J. Visser (DWW RWS)
- H.A. Schelfhout (Provincie Zuid-Holland)
- H.K.T. Kuijper (Arcadis)

Referenties

1. Grondslagen voor waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, januari 1998
2. Wet van 21 december 1995, houdende algemene regels ter verzekering van de beveiliging door waterkeringen tegen overstromingen (Wet op de waterkering) Staatsblad, 9 januari 1996
3. Leidraad Toetsen op veiligheid, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999
4. Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2001
5. Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat
6. Leidraad Zee- en Meerdijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, december 1999
7. Beheersplan Waterkeringen, blauwdruk, STOWA, december 1999
8. Leidraad duurzaam ontwerpen grond,- weg- en waterbouw, CUR rapport 99-6, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, 1999
9. Standaard RAW Bepalingen 2000, CROW kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur, 2000

Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies in primaire waterkeringen dienen op grond van de Wet op de Waterkering met een zekere betrouwbaarheid een waterkerende functie te vervullen. Het overzicht van de in deze Leidraad bedoelde waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies is als volgt:

Waterkerende kunstwerken

- sluizen (schut-, spui, inlaat-, doorlaat- en keersluizen);
- hoogwater- en stormvloedkeringen;
- coupures.

Bijzondere waterkerende constructies

- specifiek beweegbare keringen (roteerbare, verschuifbare, oppompbare of mobiele keringen);
- kistdammen/diepwanden;
- cellen-/combiwanden;
- keermuren/kadewanden;
- damwandschermen (t.b.v. stabiliteit, kwel, erosie, functiescheiding etc.);
- palenwanden;
- dijk- en grondmuurtjes;
- gewapende grond;
- vervangende waterkering bij kruising van pijpleidingen;
- damwanden in kanteldijken bij tunnels.

Daarnaast worden ook nog constructies onderscheiden die geen waterkerende functie hebben, maar bij falen wel de waterkering kunnen aantasten. Dit betreft:

- gemalen;
- hevels;
- duikers;
- pijpleidingen;
- tunnels zonder kanteldijken.

In deze bijlagen worden concrete handreikingen gegeven voor het uitvoeren van de vereiste *controles* van ontwerpvarianten op het voldoen aan de eisen die aan de waterkerende functie worden gesteld. Daarbij moet worden opgemerkt dat het juist voldoen aan deze eisen (een scherp ontwerp ten aanzien van de waterkerende functie) niet betekent dat automatisch het meest optimale ontwerp is gevonden. Een waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie moet vaak vele tientallen jaren mee. In deze periode kan de sterkte achteruit gaan en kunnen omgevingsrandvoorwaarden en functionele en gebruikseisen veranderen met eveneens

mogelijk ongunstige gevolgen voor de waterkerende veiligheid. Het is aan de ontwerper om het optimum te zoeken tussen enerzijds een scherp ontwerp, en anderzijds een ontwerp met voldoende robuustheid, om te voorkomen dat met iedere verandering de vereiste betrouwbaarheid van de waterkerende functie in gevaar komt.

De verschillende bijlagen volgen min of meer de stappen in het ontwerp-proces:

- Bijlage B1 schetst de grote lijn van de veiligheidsfilosofie voor waterkerende kunstwerken en de wijze waarop het ontwerp kan worden beoordeeld op de eisen die aan de waterkerende veiligheid worden gesteld. Deze bijlage vormt daarmee het scharnier tussen de Leidraad (opdrachtgever) en de Bijlagen (ontwerper). Er wordt met name ingegaan op de controle van de hoofdafmetingen van de constructie, en de randvoorwaarden en eisen waarbinnen de constructieonderdelen, met het oog op de waterkerende veiligheid, moeten worden gedimensioneerd. Voor nadere informatie wordt verwezen naar de overige bijlagen, waarin meer in detail op de verschillende onderdelen van het ontwerp en het ontwerpproces wordt ingegaan.
- Bijlage B2 gaat in op het vaststellen van de minimaal vereiste kerende hoogte op basis van een acceptabel instromend debiet (door overloop/overslag) in het achterliggend watersysteem. De eis ten aanzien van het toelaatbaar instromend debiet volgt uit hetzij de maximale komberging (waterbergend vermogen achter de constructie), hetzij vanuit eisen aan de constructie ten aanzien van sterkte en stabiliteit.
- Bijlage B3 behandelt de betrouwbaarheid van het sluitproces van het kunstwerk. Aangegeven wordt hoe de vereiste betrouwbaarheid van het sluitproces kan worden vastgesteld, en hoe de daadwerkelijke betrouwbaarheid van de sluitingoperatie van een ontwerp of bestaande constructie kan worden geanalyseerd.
- Bijlage B4 beschrijft hoe, nadat de hoofdafmetingen van het kunstwerk zijn vastgesteld, de ontwerpwaarde wordt bepaald van een aantal voor de waterkerende functie belangrijke belastingtypen. Aparte aandacht is geschonken aan een aantal aanbevelingen voor de wijze waarop deze belastingen in belastingcombinaties in rekening worden gebracht. De reden daarvoor is dat er op dit punt in de huidige ontwerp-praktijk nog een aantal onduidelijkheden blijkt te zijn.
- Bijlage B5 behandelt de bepaling van de in rekening te brengen hydraulische belastingen door invallende golven. De berekening van dit type belasting kan vrij ingewikkeld zijn. In deze aparte bijlage wordt hier nader op ingegaan.
- Bijlage B6 geeft aan welke consequenties beheer en onderhoud op de waterkerende functie hebben. Deze aanwijzingen zijn relevant voor

zowel ontwerper als beheerde. Immers zowel in de ontwerpfase van nieuwe kunstwerken als ook in de gebruiksfase van bestaande kunstwerken dient met deze consequenties rekening te worden gehouden, omdat te allen tijde, dus ook in onderhoudssituaties, aan de veiligheidseisen moet worden voldaan. In aanvulling hierop geeft deze bijlage handvatten voor het vastleggen van ontwerpuitgangspunten voor beheer en onderhoud in relatie tot de waterkerende functie. Deze ontwerpuitgangspunten vormen een belangrijk onderdeel van de informatieoverdracht van de ontwerper (die verantwoordelijk is voor het ontwerp van een nieuw kunstwerk) naar de beheerder (die verantwoordelijk is voor het beheer en onderhoud van het bestaande kunstwerk).

- Bijlage B7 behandelt de controle van het ontwerp van pijpleidingen in of nabij de primaire waterkering.
- Bijlagen B8 en B9 behandelen een tweetal praktijkvoorbeelden, die een toelichting vormen op de teksten in bijlage B1 tot en met B6.

B1 Uitwerking veiligheidsfilosofie

B1.1 Inleiding

Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies in primaire waterkeringen dienen op grond van de Wet op de waterkering met voldoende betrouwbaarheid een waterkerende functie te vervullen. Om die reden worden aan dergelijke constructies eisen gesteld ten aanzien van:

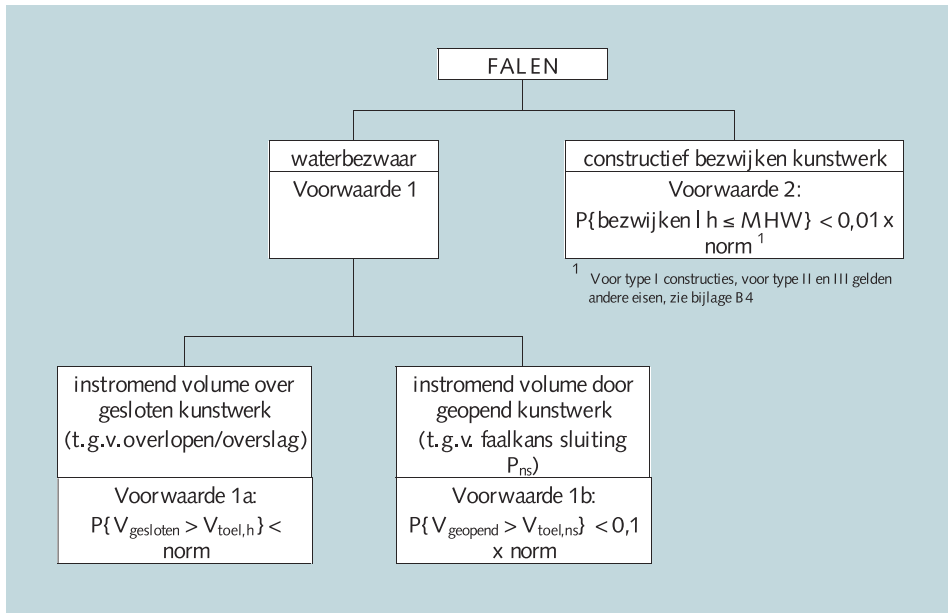
- kerende hoogte (maximum instromend volume via gesloten kunstwerk);
- betrouwbaarheid afsluitmiddelen (maximum instromend volume via geopend kunstwerk);
- sterkte en stabiliteit (constructief bezwijken van het kunstwerk).

Hierbij wordt opgemerkt dat voor sommige constructies niet alledrie deze aspecten relevant zijn, zoals bijvoorbeeld de kerende hoogte bij duikers, of de betrouwbaarheid van afsluitmiddelen bij een gesloten keermuur.

B1.2 Normstelling

In figuur B1.1 is de normstelling voor een kunstwerk, uitgaande van de dijkvak-overbelastingsbenadering, in beeld gebracht. Aan deze normstelling dient het kunstwerk gedurende de gehele planperiode te voldoen. Daarnaast kunnen er uiteraard nog aanvullende eisen zijn gesteld, samenhangend met de andere functies van het kunstwerk.

De essentie van de overbelastingsbenadering is dat primair eisen worden gesteld aan de kans per jaar op overschrijding van een toelaatbaar instromend volume buitenwater via het gesloten kunstwerk of geopende kunstwerk (voorwaarde 1). Daarnaast wordt als aanvullende eis gesteld dat de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk, gegeven dat normomstandigheden niet worden overschreden, klein dient te zijn ten opzichte van de kans op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume (voorwaarde 2).



*Figuur B1.1
Schema overbelastings-
benadering voor een
waterkerend kunstwerk
of bijzondere constructie*

In de figuur is aangegeven hoe de eisen in formulevorm kunnen worden geconcretiseerd. De parameters in de formules hebben de volgende betekenis:

$P\{V_{\text{gesloten}} > V_{\text{toel,h}}\} =$	kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume $V_{\text{toel,h}}$ via het gesloten kunstwerk (leidend tot waterbezwaar) [1/jaar]
$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel,ns}}\} =$	kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume $V_{\text{toel,ns}}$ via het geopende kunstwerk (leidend tot waterbezwaar) [1/jaar]
$P\{\text{bezwijken} \mid h \leq \text{MHW}\} =$	kans per jaar op constructief bezwijken van het kunstwerk, gegeven geen overschrijding van de normomstandigheden (= Maatgevend Hoog Water incl. bijbehorend golfregime) [1/jaar]
norm =	de ontwerp- of normfrequentie als vastgelegd in de Wet op de Waterkering (WoW): 1/1.250, 1/2.000, 1/4.000 of 1/10.000 [1/jaar]

In deze bijlage wordt nader ingegaan op de achtergrond van deze voorwaarden, en wordt in algemene zin aangegeven hoe het ontwerp kan worden gecontroleerd op het voldoen aan deze voorwaarden.

B1.2.1 Voorwaarde 1: Overschrijding toelaatbaar instromend volume

In veel gevallen vormt een waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie een scheiding tussen het buitenwater aan de ene kant en een binnenwatersysteem aan de andere kant. In geval er buitenwater via het gesloten kunstwerk of het geopende kunstwerk naar binnen stroomt, dan komt dit direct terecht in het binnenwatersysteem. Zolang dit water in het binnenwatersysteem veilig kan worden geborgen is er geen probleem. Echter, op het moment dat de instromende hoeveelheid water zo groot wordt dat binnenwaterkeringen dreigen over te lopen en/of bezwijken, is er sprake van een door falen van het kunstwerk veroorzaakt waterbezwaar. Het maximaal te bergen volume instromend water is dan bereikt.

Bij sommige typen (waterkerende) constructies in primaire waterkeringen zal overslag van golven of overloop van buitenwater niet in het binnenwatersysteem terechtkomen. Gedacht wordt aan bijvoorbeeld coupures. In deze gevallen zal derhalve op andere gronden een inschatting moeten worden gemaakt van het debiet of volume water dat nog net niet leidt tot een ontoelaatbaar waterbezwaar aan de binnenkant van de kering.

Door middel van voorwaarde 1 wordt een eis gesteld aan de toelaatbare kans op het optreden van waterbezwaar aan de binnenzijde van het kunstwerk als gevolg van overschrijding van een zeker instromend volume buitenwater via het gesloten of geopende kunstwerk. Deze eis is uitgesplitst in aparte deeleisen voor het gesloten en het geopende kunstwerk. Daarbij is ervan uitgegaan dat de kans op waterbezwaar via het geopende kunstwerk een orde kleiner moet zijn dan de kans op waterbezwaar via het gesloten kunstwerk. De belangrijkste reden hiervoor is dat het optreden van waterbezwaar achter het kunstwerk bij 'normale' buitenwaterstanden (maatschappelijk) minder acceptabel is.

Voorwaarde 1a: Overschrijding toelaatbaar instromend volume via gesloten kunstwerk

Voorwaarde 1a stelt een eis aan de toelaatbare gemiddelde kans per jaar dat een toelaatbaar instromend volume buitenwater via het gesloten kunstwerk wordt overschreden. Deze kans dient kleiner te zijn dan de in de Wet op de Waterkering vastgelegde normfrequentie van de dijkkring waarin het kunstwerk zich bevindt.

Op basis van deze eis wordt de minimaal vereiste hoogte van het kunstwerk vastgesteld. De hiertoe benodigde informatie betreft onder meer de maatgevende hoogwaterstand (MHW) op het buitenwater voor het kunstwerk (dit is de waterstand die met een gemiddelde kans per jaar

gelijk aan de normfrequentie wordt overschreden), het hoogwaterstandverloop bij MHW, de planperiode, en een inschatting van het maximaal te bergen volume water in het binnenwatersysteem V_{toel} . De inschatting van het maximaal te bergen volume volgt in beginsel uit het bergend oppervlak van het binnenwatersysteem vermenigvuldigd met de maximaal toelaatbare waterstandsverhoging op het binnenwatersysteem vanaf het begin van overlopen. Welke waterstand op het binnenwatersysteem maximaal toelaatbaar is om de veiligheid tegen overstroming vanuit het binnenwatersysteem voldoende te waarborgen, moet in overleg met de beheerder van het kunstwerk, de beheerder van het binnenwatersysteem, en de beheerder van de daaraan gelegen waterkeringen worden vastgesteld. Voorts moet worden opgemerkt dat bij de inschatting van het maximaal te bergen volume een aantal aspecten een rol kunnen spelen die mogelijk niet kunnen worden verwaarloosd. Hierbij wordt onder meer gedacht aan:

- mogelijke correlatie tussen hoog buitenwater en hoog binnenwater, met name via neerslag. Vooral neerslag kan er toe leiden dat in geval van extreem hoog buitenwater de kans groot is dat ook het peil op het binnenwatersysteem al voor het begin van overlopen hoger is dan het normale beheerpeil. Dit vermindert uiteraard het bergend vermogen van het binnenwatersysteem. Wind kan overigens leiden tot negatieve correlatie doordat opwaaiing voor de kering gepaard gaat met afwaaiing achter de kering;
- mogelijk overlopen van andere waterkerende kunstwerken in geval van extreem hoog buitenwater, waardoor het beschikbaar bergend vermogen verdeeld moet worden over meerdere kunstwerken;
- de beschikbare uitmaalcapaciteit van het binnenwatersysteem kan in geval van overlopen van kunstwerken worden gebruikt om het bergend vermogen van het binnenwatersysteem te vergroten.

Op het vaststellen van de kerende hoogte van waterkerende kunstwerken of bijzondere constructies wordt uitvoerig nader ingegaan in bijlage B2 'Kerende hoogte'. Overigens zal niet in alle gevallen een controle van de hoogte-eis noodzakelijk zijn. Denk bijvoorbeeld aan een duiker of de transportleidingen van een gemaal.

Voorwaarde 1b: Overschrijding toelaatbaar instromend volume via geopend kunstwerk

De gemiddelde kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume buitenwater via het geopende kunstwerk dient een factor 10 kleiner te zijn dan de normfrequentie, en daarmee kleiner te zijn dan 0,1 maal de normfrequentie.

Op basis van deze eis kan het zogenaamde open keerpeil van het kunstwerk vastgesteld worden in samenhang met de maximaal toelaatbare kans op falen van de sluiting. In formulevorm:

$$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel}}\} = P\{h_{\text{bu}} > \text{OKP}\} \cdot p_{\text{ns}} = n_j \cdot p_{\text{ns}} < 0,1 \times \text{norm} \quad (\text{B1.1})$$

met: $P\{h_{\text{bu}} > \text{OKP}\}$ = frequentie waarmee de buitenwaterstand voor het kunstwerk (h_{bu}) het open keerpeil (OKP) overschrijdt [1/jaar]

OKP = het open keerpeil, ofwel de buitenwaterstand waarbij nog juist geen ontoelaatbaar volume buitenwater via het geopende kunstwerk naar binnenstroomt

p_{ns} = kans dat het kunstwerk niet is gesloten op het moment dat het open keerpeil wordt overschreden [-]

n_j = vereiste sluitfrequentie van het kunstwerk, welke op basis van de definitie van het open keerpeil gelijk is aan $P\{h_{\text{bu}} > \text{OKP}\}$ [1/jaar]

Een opvallend verschil tussen de controle van de waterkerende veiligheid van het gesloten kunstwerk en de controle van de waterkerende veiligheid van het geopende kunstwerk is de volgorde van redeneren. De minimaal vereiste kerende hoogte van het gesloten kunstwerk wordt bepaald uitgaande van de maatgevende hoogwaterstand MHW. Bij het geopende kunstwerk vormt de geometrie van het geopende kunstwerk het startpunt van de controle en wordt het open keerpeil OKP op basis daarvan bepaald als de ontwerpwaterstand voor het geopende kunstwerk.

Het open keerpeil op het buitenwater kan op verschillende manieren worden vastgesteld, variërend van eenvoudig door middel van een veilige inschatting (bijvoorbeeld drempelhoogte of maximaal toelaatbaar peil op het binnenwater), tot gedetailleerd door middel van een analyse van het bergend vermogen van het achterliggende (water)systeem in combinatie met hydraulische berekeningen bij gegeven of verondersteld verloop van de buitenwaterstand rond de maximum waterstand. In Bijlage B3 worden de methoden voor de bepaling van het open keerpeil nader beschreven. Merk op dat in de definitie van het open keerpeil is aangenomen dat na overschrijding van dit peil de kans op het alsnog tijdig sluiten van het kunstwerk is verwaarloosd. Hiermee zal derhalve in bepaalde gevallen een wat conservatieve benadering worden gevolgd.

Uit het open keerpeil van het kunstwerk en de overschrijdingsfrequentie-lijn van buitenwaterstanden volgt de vereiste sluitfrequentie van het kunstwerk n_j .

Tenslotte dient ook een inschatting te worden gemaakt van de kans dat

de sluiting van het kunstwerk niet is gelukt op het moment dat het open keerpeil wordt overschreden. Hiertoe is een analyse van de betrouwbaarheid van het sluitproces vereist. Belangrijk aandachtspunt daarbij is dat een waterkerend kunstwerk in veel gevallen meerdere functies vervult, waarmee voor een correcte analyse van de betrouwbaarheid van het sluitproces mogelijk meerdere uitgangssituaties (welke samenhangen met de functie die toevallig op dat moment wordt vervuld) moeten worden beschouwd. De analyse van de betrouwbaarheid van het sluitproces wordt eveneens behandeld in bijlage B3.

B1.2.2 Voorwaarde 2: Constructief bezwijken kunstwerk

Indien een gesloten of geopend kunstwerk constructief bezwijkt zullen de gevolgen in de regel een orde ernstiger zijn dan wanneer het toelaatbaar instromend volume wordt overschreden maar het kunstwerk zelf wel in tact blijft. Dit hangt samen met het gegeven dat de kans groot is dat na constructief falen van het kunstwerk ook erosie van de aansluitende grondconstructie optreedt. Daarmee kan een plotseling sterk verergerende en oncontroleerbare situatie ontstaan waarbij zeer grote debieten naar binnen stromen, leidend tot een ernstige overstroming van het achterliggende gebied. Om die reden wordt in aanvulling op de voorwaarden 1a en 1b, een relatief strenge voorwaarde gesteld aan de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk. Deze luidt dat de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk, gegeven dat de normomstandigheden niet worden overschreden, kleiner dient te zijn dan 0,01 maal de normfrequentie.

In tegenstelling tot de voorwaarden 1a en 1b, die met name betrekking hebben op de lay-out van het kunstwerk (hoofdafmetingen en opbouw van het sluitsysteem) heeft voorwaarde 2 vooral betrekking op de dimensionering van constructieonderdelen. Voor de controle van deze eis hoeven dan ook niet de instromende volumes beschouwd te worden, maar de piekbelastingen, waaronder bijvoorbeeld stromingsbelastingen, golfklappen en grond- en/of waterdrukken. Omdat de eis betrekking heeft op het kunstwerk als geheel zou in theorie de faalkans moeten worden onderverdeeld over de afzonderlijke constructieonderdelen. De genoemde eis mag echter rechtstreeks worden overgenomen voor de verschillende constructieonderdelen, omdat er veelal sprake is van een aanzienlijke afhankelijkheid tussen de kansen op optreden van de verschillende faalmechanismen, via met name de optredende waterstand, en de in de praktijk aanwezige redundantie in de constructie.

Constructief bezwijken van bepaalde onderdelen kan leiden tot een situatie vergelijkbaar met 'niet sluiten' (geopend kunstwerk), zoals bijvoorbeeld het constructief bezwijken van een waterkerende deur. Voor het constructief bezwijken van deze onderdelen dient desalniettemin de eis van constructief bezwijken gehanteerd te worden. Dit houdt verband met de reeds genoemde veelal oncontroleerbare gevolgen van een dergelijke gebeurtenis (voorwaarde 2).

Ten behoeve van het vaststellen van de maatgevende belastingen dienen in beginsel alle mogelijk optredende belastingsituaties die maatgevend kunnen zijn te worden beschouwd. Voor de dimensionering van veel constructieonderdelen op voorwaarde 2 zal de situatie van een gesloten kunstwerk onder normomstandigheden (MHW op het buitenwater) maatgevend zijn. Dit is echter niet altijd voor alle constructies en constructie-onderdelen het geval. Als voorbeelden kunnen worden genoemd de uitstroomopening van een gemaal en de bodembescherming aan de binnenzijde van een schutsluis. De opbrengst van een gemaal is het grootst bij een lage buitenwaterstand. In die situatie wordt derhalve de uitstroomopening maatgevend belast. De bodembescherming aan de binnenzijde van een schutsluis wordt veelal maatgevend belast door de schroefstraalstroom van passerende schepen of door een sterke vervalstroom door het onbedoeld geopende kunstwerk.

Een voldoende kleine faalkans van onderdelen van de 'civiele constructie' kan worden gerealiseerd indien constructieonderdelen worden gedimensioneerd met inachtnaam van de in bijlage B4 gegeven aanwijzingen voor de dimensionering op de eisen aan sterkte en stabiliteit.

B1.3 Stroomschema ontwerp

Het functioneel Programma van Eisen zal ten behoeve van het ontwerp moeten worden geconcretiseerd in een constructief Programma van Eisen. Het ontwerpen en beheren van constructies in de waterkering dient zodanig te zijn dat ook aan de eis met betrekking tot de waterkerende functie wordt voldaan. Deze eis is, zoals hiervoor al beschreven, onderverdeeld naar eisen aan de mogelijke onderliggende faalmechanismen 'overlopen/overslag', 'falen van de sluiting' en 'constructief bezwijken'.

Naast de waterkerende functie kunnen ook andere functies, die in het functioneel programma van eisen zijn opgenomen, maatgevend zijn voor het constructief programma, bijvoorbeeld:

- een bewegingswerk van een sluis kan vanuit de functie 'schutten' een hogere betrouwbaarheidseis hebben dan vanuit de functie 'waterkeren';
- een ontwerp kan duurder uitvallen dan constructief noodzakelijk is, omdat er bijvoorbeeld eisen zijn gesteld aan LNC-waarden of met betrekking tot het onderhoud of omdat het kunstwerk gerestoureerd wordt in het kader van de Monumentenwet;
- een bepaald volume instromend buitenwater, dat weliswaar veilig geborgen kan worden in het achterliggend watersysteem, kan niet toelaatbaar zijn uit oogpunt van de waterkwaliteit (bijvoorbeeld in geval van zout buitenwater);
- de kerende hoogte moet zodanig zijn dat overspattend water, met het oog op begaanbaarheid voor wegverkeer, wordt voorkomen.

Derhalve kunnen in het ontwerpproces van een onderdeel van het waterkerende kunstwerk de volgende vier stappen worden onderscheiden:

1. Bepaal de eisen vanuit de functie waterkeren (Leidraad Kunstwerken).
2. Bepaal de eisen vanuit andere functies (bijvoorbeeld de functie schutten).
3. Stel de maatgevende functie voor het ontwerp van het onderdeel vast.
4. Ontwerp het onderdeel.

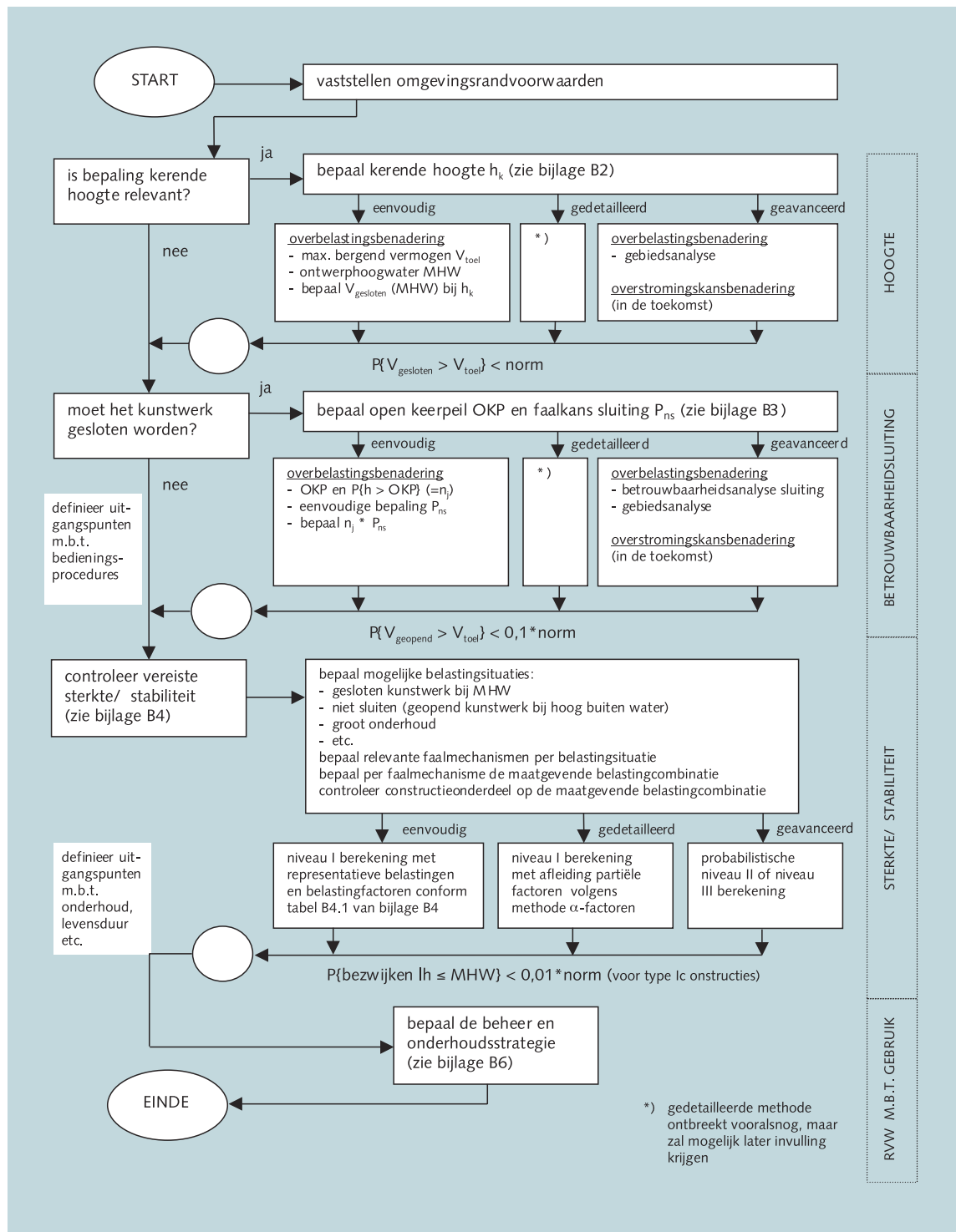
In figuur B1.2 is een stroomschema opgenomen voor de ontwerpcontroles (functie waterkeren) volgens de eenvoudige, een gedetailleerde en een geavanceerde methode voor de elementen kerende hoogte, sluiting, constructieve sterkte. Een toelichting op de stappen in het stroomschema wordt in paragraaf B1.4 gegeven.

B1.4 Toelichting stroomschema ontwerpcontroles

B1.4.1 Methoden

Indien een ontwerp(variant) volgens de meest eenvoudige standaard ontwerpregels niet of slechts tegen (te) hoge inspanning c.q. kosten aan de eisen gesteld aan de hoofdmechanismen blijkt te kunnen voldoen, terwijl toch het gevoel bestaat dat er 'meer in zit', kan worden gekozen voor een gedetailleerder beschouwing. Doel daarvan is de betrouwbaarheid (kans op falen) van het ontwerp nauwkeuriger te bepalen. Omdat in de

Figuur B1.2
Stroomschema ontwerp-
controles (waterkerende
functie)



standaard ontwerpregels onzekerheden worden afgedekt door conservatieve benaderingen, levert een meer gedetailleerde beschouwing veelal een scherpere inschatting op van de met het ontwerp gerealiseerde betrouwbaarheid.

In het stroomschema voor ontwerpcontroles is per ontwerpstap (bepalen kerende hoogte, bepalen open keerhoogte / betrouwbaarheid sluiting en dimensionering op sterkte / stabiliteit) onderscheid gemaakt tussen drie 'methoden' die verschillen in detailniveau: eenvoudige methode, gedetailleerde methode en geavanceerde methode. De eenvoudige methode omvat de genoemde standaard ontwerpregels.

Met de gedetailleerde methode kan in de regel scherper worden ontworpen. Hier is dan doorgaans wel meer informatie voor nodig. Daarnaast is de gedetailleerde methode bewerkelijker.

De geavanceerde methode heeft het hoogste detailniveau. Deze methode kan bestaan uit een betrouwbaarheids- of risicoanalyse. Een betrouwbaarheidsanalyse is niet hetzelfde als een risicoanalyse. Een betrouwbaarheidsanalyse heeft tot doel de betrouwbaarheid van een systeem te bepalen, welke kan worden uitgedrukt in een faalkans. De betrouwbaarheid vormt daarmee onderdeel van een risicoanalyse. In een risicoanalyse wordt niet alleen de faalkans bepaald maar ook de gevolgen van falen. Een risicoanalyse gaat dus verder dan een betrouwbaarheidsanalyse.

B1.4.2 Vaststellen omgevingsrandvoorwaarden

De eisen aan het waterkerend vermogen van het kunstwerk, volgend uit de overbelastingsbenadering als in B1.2 beschreven, hebben betrekking op de kans op in meer of mindere mate optreden van wateroverlast of zelfs overstroming van het achterliggende gebied. Daarmee zijn gegevens betreffende optredende buitenwaterstanden en gegevens betreffende de mate waarin instromend buitenwater in het achterliggende gebied kan worden geborgen essentieel voor de controle op het voldoen van het ontwerp aan deze eisen.

In tabel B1.1 is een overzicht gegeven van de per deeis minimaal benodigde hydraulische randvoorwaarden voor de controle van het ontwerp op voldoen aan de waterkeringeis volgens de eenvoudige methode.

Bij de bepaling van de in de tabel vermelde hydraulische omgevingsrandvoorwaarden moet er rekening mee worden gehouden dat deze door de tijdafhankelijke processen hoogwaterstijging en bodemdaling, gedurende de planperiode kunnen veranderen.

Ontwerpeis + Bijlage nr.	Mechanisme	Randvoorwaarden belastingkant	Randvoorwaarden sterktekant
kerende hoogte (B2)	instromend volume over gesloten kunstwerk	- MHW - buistoten, -oscillaties en lokale opwaaiing - waterstandverloop bij MHW - golfregime bij MHW	- bergend vermogen achterliggend (water)systeem bij MHW omstandigheden
betrouwbaarheid sluiting (B3)	instromend volume door geopend kunstwerk	- overschrijdingsfrequentie van hoogwaterstanden - buistoten, -oscillaties en lokale opwaaiing - waterstandverloop (*) - golfregime bij hoogwaterstanden (*)	- bergend vermogen achterliggend (water)systeem bij hoogwater-omstandigheden
sterkte en stabiliteit (B4)	constructief bezwijken hoofdconstructie	- MHW - buistoten, -oscillaties en lokale opwaaiing - golfregime bij MHW	- binnenwaterstand bij MHW omstandigheden

Tabel B1.1
Hydraulische randvoorwaarden t.b.v. controle waterkerend vermogen

(*) Alleen nodig als bij de bepaling van de vereiste betrouwbaarheid van de sluiting het bergend vermogen van het achterliggend watersysteem wordt meegenomen (gedetailleerde methode). Onzekerheden over de aan te nemen duur van het hoogwater dienen altijd door middel van een voorzichtige inschatting afgedekt te worden.

Voor de precieze definitie van de betekenis van de vermelde randvoorwaarden, de wijze waarop deze kunnen worden vastgesteld of verkregen, en het gebruik daarvan wordt verwezen naar de genoemde bijlagen.

B1.4.3 Kerende hoogte (gesloten kunstwerk)

Het criterium, op basis waarvan de minimaal vereiste kerende hoogte wordt vastgesteld, heeft betrekking op de toelaatbare kans op waterbezwaar in het achterliggende gebied als gevolg van overslag of overloop over het gesloten kunstwerk. Voor de nadere uitwerking hiervan wordt verwezen naar bijlage B2.

Eenvoudige methode

In de eenvoudige methode wordt uitgegaan van een conservatieve (dus lage) schatting van het bergend vermogen dat in het achterliggende gebied beschikbaar is om overslag of overloop over het beschouwde gesloten kunstwerk veilig te kunnen bergen. Aandachtspunten voor het

bergend vermogen zijn:

- de mogelijkheid dat bij een hoog buitenwater de waterstanden in het binnenwatersysteem al verhoogd zijn;
- de kans dat ook andere kunstwerken in de dijkkring die het gebied omsluiten tegelijkertijd overlopen.

Voor de berekening van het tijdens een hoogwater instromende volume dient bij een gegeven ontwerpwaterstand (MHW) een veilige aanname te worden gedaan van het verloop van het hoogwater in de tijd voor en na het bereiken van dit hoogwater. Met behulp van de overslagformules uit bijlage B2 kan dan het totaal instromende volume bij een zekere kerende hoogte worden berekend.

Merk op dat de beschouwing van overlopen/overslag volgens de eenvoudige methode al voorziet in een risicoanalyse. Het toelaatbare overloopdebiet gedurende zekere tijd, op basis waarvan de minimaal vereiste kerende hoogte wordt gecontroleerd, wordt immers bepaald op basis van het kombergend vermogen van het achterliggende watersysteem. Daarmee wordt dus feitelijk een maximaal toelaatbaar gevolg van het instromend debiet bepaald, om de minimaal vereiste kerende hoogte vast te stellen.

Gedetailleerde methode

De eenvoudige methode bepaalt de betrouwbaarheid van het ontwerp al zo nauwkeurig, dat er beperkte mogelijkheden zijn voor optimalisatie. Om die reden is er geen gedetailleerde rekenmethode voor de bepaling van de kerende hoogte gegeven.

Geavanceerde methode

De geavanceerde methode gaat ook uit van de overbelastingsbenadering (zoals beschreven in de eenvoudige methode). Het verschil met de eenvoudige methode is dat het beschikbaar bergend vermogen door middel van een statistisch onderbouwde gebiedsanalyse wordt bepaald in plaats van door middel van een conservatieve inschatting. Daarbij wordt onder meer expliciet rekening gehouden met correlatie tussen de hoogwaterstandsverdelingen op het buitenwater en de hoogwaterstandsverdeling op het binnenwatersysteem en met de correlatie tussen de kansverdelingen van overloopdebieten over de verschillende kunstwerken in de dijkkring. Aanwijzingen voor de concrete uitwerking van een gebiedsanalyse maken overigens geen deel uit van deze Leidraad.

In de toekomst wordt de overbelastingsbenadering mogelijk vervangen door een overstromingskans-benadering of een overstromingsrisicobenade-

ring. In deze benaderingen wordt de veiligheid uitgedrukt als een kans op overstroming van een dijkkringgebied, waarbij al dan niet ook de verschillende gradaties van mogelijke gevolgen worden meegenomen. Deze benaderingen vereisen een integrale beschouwing van de veiligheid van de gehele ring van primaire keringen en het systeem van binnenwaterkeringen.

In het voorgaande is er steeds van uitgegaan dat het kunstwerk een scheiding vormt tussen het buitenwater en een binnenwatersysteem. Dit hoeft niet altijd het geval te zijn. Indien het overslag- of overloopdebiet terechtkomt op een (onverdedigd) binnentalud van de waterkering, bijvoorbeeld in geval van coupures, zal een inschatting moeten worden gemaakt van het overslag- of overloopdebiet dat nog net niet tot een ontoelaatbaar waterbezwaar leidt.

B1.4.4 Open keerpeil en betrouwbaarheid sluiting

De kans op het optreden van een ontoelaatbaar waterbezwaar als gevolg van een te groot instromend volume buitenwater door het niet gesloten kunstwerk is te berekenen als de gecombineerde kans op niet sluiten P_{ns} en het tegelijkertijd optreden van dermate hoge buitenwaterstand ($h > OKP$) dat het toelaatbaar instromend volume wordt overschreden. Voor de nadere uitwerking hiervan wordt verwezen naar bijlage B3.

Eenvoudige methode

Volgens de eenvoudige methode wordt eerst een snelle en veilige inschatting gemaakt van het OKP. Voor constructies waarvan de drempel in de geopende toestand onder 'normale omstandigheden' boven de buitenwaterstand ligt (bijvoorbeeld coupures) kan een snelle veilige inschatting worden gemaakt door OKP te bepalen als de drempelhoogte vermindert met een veiligheidsmarge. Voor constructies waarvan de drempel in geopende toestand onder 'normale omstandigheden' onder de buitenwaterstand ligt (bijvoorbeeld keersluizen die alleen bij hoog buitenwater moeten worden gesloten) kan een snelle veilige inschatting worden gemaakt door OKP te bepalen als de waterstand, die op het binnenwatersysteem nog veilig door het stelsel van binnenwaterkeringen kan worden gekeerd.

Gegeven het OKP kan vervolgens uit de statistiek van buitenwaterstanden de overschrijdingsfrequentie van deze waterstand worden bepaald. Deze frequentie is gedefinieerd als de n_j .

Vervolgens dient uit een analyse van de betrouwbaarheid van het sluitproces de kans op falen van de sluiting te worden bepaald (p_{ns}). Een een-

voudige bepalingsmethode voor de kans op niet sluiten is beschreven in bijlage B3. De kans op het optreden van een ontoelaatbaar waterbezwaar als gevolg van niet sluiten is dan tenslotte te berekenen als het product van n_j en P_{ns} .

Gedetailleerde methode

De gedetailleerde methode verschilt met name van de eenvoudige methode voor wat betreft de bepaling van het OKP. In de eenvoudige methode wordt uitgegaan van een eenvoudig te maken inschatting van het OKP. In de gedetailleerde methode is de bepaling nauwkeuriger en daarmee vaak scherper, doordat middels hydraulische berekeningen rekening wordt gehouden met de omvang en verloop in de tijd van het instromend debiet, en het bergend vermogen van het achterliggende watersysteem.

Geavanceerde methode

De geavanceerde methode omvat zowel een nauwkeurige bepaling van het beschikbaar bergend vermogen door middel van een statistisch onderbouwde gebiedsanalyse (zie ook geavanceerde methode ter bepaling van de kerende hoogte van het gesloten kunstwerk) als in een nauwkeurige bepaling van de kans op niet sluiten door middel van een meer diepgaande betrouwbaarheidsanalyse van het sluitproces. Diepere achtergronden van de betrouwbaarheidsanalyse zijn beschreven in bijlage B3.

B1.4.5 Sterkte en stabiliteit

Aan de eis voor constructief bezwijken kan worden voldaan door de ontwerpregels, die zijn gegeven in bijlage B4, in acht te nemen. Deze regels, welke met name betrekking hebben op een aantal voor constructies in waterkeringen typische en belangrijke belastingbronnen, zijn op hun beurt voor een belangrijk deel gebaseerd op bestaande TAW-leidraden en NEN-normen.

Voor de bepaling van ontwerpbelastingen is in bijlage B4 een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de eenvoudige, deterministische methode en anderzijds gedetailleerde of geavanceerde probabilistische methoden. De eenvoudige methode gaat uit van vaste standaardwaarden van representatieve belastingen en belastingfactoren. De gedetailleerde of geavanceerde methoden gaan uit van een scherpere bepaling hiervan op basis van (semi)probabilistische bepaling van belastingen en belastingfactoren. Deze methoden op basis van (semi)probabilistische berekeningen vallen buiten het bestek van deze Leidraad. Een uitzondering is gemaakt voor de berekening van de belastingfactor voor hydraulische belastingen uit verschillendrukken door waterstanden. Omdat deze belastingen vaak dominant zijn in de berekening van de dimensies van de hoofdconstructie, kan

nauwkeuriger bepaling van deze belastingfactor relatief veel besparing opleveren.

B1.5 Verschillen tussen voorontwerp en ontwerp

Gedurende het ontwerpproces dient de detaillering zodanig te zijn dat ontwerpbeslissingen kunnen worden gemotiveerd. Naarmate het ontwerp vordert zullen steeds meer detailbeslissingen moeten worden genomen om tot het definitieve ontwerp te komen. In grote lijnen valt de toepassing van de eenvoudige methoden samen met het voorontwerp en de eventuele toepassing van gedetailleerde of geavanceerde methoden met het ontwerp.

B1.6 Informatieblad van het ontwerp

De wijze waarop aan de eisen met betrekking tot het waterkerend vermogen wordt voldaan (en de voorwaarden waaronder dit het geval blijft), dient tijdens het ontwerp helder te zijn vastgelegd. Dit vereenvoudigt de 5-jaarlijkse wettelijk verplichte toetsing in het kader van de Wet op de Waterkering (WoW), en geeft de beheerder een duidelijk kader waarbinnen hij geacht wordt het gebruik, beheer en onderhoud van het kunstwerk in te richten, opdat blijvend wordt voldaan aan de eisen die zijn afgeleid vanuit de WoW.

Daarnaast maakt het verzamelen en het vastleggen van deze informatie het voor de opdrachtgever eenvoudiger het ontwerp goed te keuren. Aanbevolen wordt de belangrijkste tijdens het ontwerp gehanteerde uitgangspunten, en overige voor het gebruik, beheer en onderhoud relevante informatie samen te vatten in een informatieblad van het ontwerp. Een mogelijke opzet van een dergelijk informatieblad is gegeven bij de voorbeelden in bijlage B8 en B9.

B1.7 Onderhoud

In het ontwerp dient om verschillende redenen al rekening te worden gehouden met het tijdens de gebruiksfase benodigde onderhoud, de fysieke ruimte om het onderhoud uit te voeren en onverwachte gebeurtenissen. Een eerste belangrijke reden is dat ook in onderhoudssituaties de waterkerende veiligheid gewaarborgd moet blijven. Een tweede belangrijke reden is dat de gedurende de levensduur te maken onder-

houdskosten in belangrijke mate worden bepaald in de ontwerpfase. Ter indicatie van de omvang van de onderhoudskosten geldt dat in geval van schutsluizen de gedurende de levensduur te maken onderhoudskosten van een gelijke orde van grootte zijn als de stichtingskosten. In bijlage B6 wordt nader ingegaan op beheer en onderhoud.

B1.8 Planperiode

De planperiode van het te ontwerpen kunstwerk vormt een zeer belangrijk ontwerpuitgangspunt. Gedurende de levensduur van het kunstwerk kunnen immers zowel de wijze van gebruik als ook randvoorwaarden wijzigen. Daarnaast kan de constructieve sterkte van bepaalde constructieonderdelen in de tijd achteruitgaan als gevolg van veroudering. Met deze al mogelijke veranderingen dient in het ontwerp al expliciet rekening te worden gehouden, omdat het kunstwerk ook aan het einde van zijn levensduur nog aan gestelde (waterkerings)eisen moet voldoen. Oplossingen kunnen enerzijds worden gezocht in het ontwerp zodanig te maken dat later eventueel benodigde aanpassingen relatief eenvoudig kunnen worden uitgevoerd, danwel het ontwerp te overdimensioneren.

Als enkele concrete voorbeelden van mogelijke veranderingen die de waterkerende veiligheid in de loop der tijd negatief beïnvloeden kunnen worden genoemd: het ontstaan van onvoldoende kerende hoogte als gevolg van hoogwaterstijging inclusief NAP-daling, toename van de vereiste sluitfrequentie als gevolg van hoogwaterstijging inclusief NAP-daling, achteruitgang van de constructieve sterkte van stalen sluisdeuren door afnemende staaldikte, en wegroesten of falen van de aansluiting van onder- of achterloopsheidschermen.

B2 Kerende hoogte

B2.1 Inleiding

Met kerende hoogte wordt bedoeld het niveau van de bovenkant van de constructie, zoals bijvoorbeeld de bovenkant van de beplating van deuren of de bovenkant van een kademuur. Niet bij alle in de leidraad genoemde typen kunstwerken en bijzondere constructies geldt dat gebrek aan kerende hoogte als een faalmechanisme wordt beschreven. De typen waarvoor dit wel geldt, zijn:

- *waterkerende kunstwerken*:
 - schutsluizen, stroomsluizen en keersluizen;
 - hoogwater- en stormvloedkeringen;
 - coupures.
- *bijzondere waterkerende constructies, zoals*:
 - kistdammen;
 - keermuren/-wanden en kadewanden;
 - dijkmuurtjes.

Bij de meeste van deze constructies gaat het om een verticale starre wand, waarbij de golfhoogten meestal klein zijn ten opzichte van de waterdiepte ervoor (sluizen en dergelijke). De basisconstructies voor deze bijlage over kerende hoogte zijn deze verticale wanden op relatief diep water. Relatief diep water wil zeggen dat de golfhoogte klein is ten opzichte van de waterdiepte, of meer concreet, als de inkomende golfhoogte vlak voor de constructie niet groter is dan ongeveer 1/3 van de waterdiepte.

Ondiepe voorlanden en hoog gelegen kadeterreinen (die bij extreem hoog water onderlopen) laten golven soms zwaar breken voordat ze het kunstwerk, de verticale constructie, bereiken. Op die situaties is deze bijlage niet van toepassing. Dit betreft dus met name de volgende bijzondere waterkerende constructies:

- keerwanden of muren op een kade, waarbij veel breken van golven op de ondergelopen kade zelf wordt verwacht. Hiervoor wordt verwezen naar 'Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies' [ref. B2.1];
- kistdammen en dijkmuurtjes (keerwanden op een talud of dijk). Deze zijn meer onderdeel van een dijk dan een constructie die apart moet worden beschouwd. In het 'Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken' [ref. B2.2], worden deze constructies al meegenomen. Voor dit type constructies wordt hiernaar verwezen. Hetzelfde geldt in beginsel ook voor een coupure.

Bijzonder vormgegeven waterkerende kunstwerken als een balgkering kunnen evenmin met de in deze bijlage gegeven methoden worden

beschouwd, omdat er in dat geval geen sprake is van een vlakke wand en star gedrag in golven. Voor de berekening van het overslagdebiet in die gevallen zal een meer specifieke benadering gezocht moeten worden.

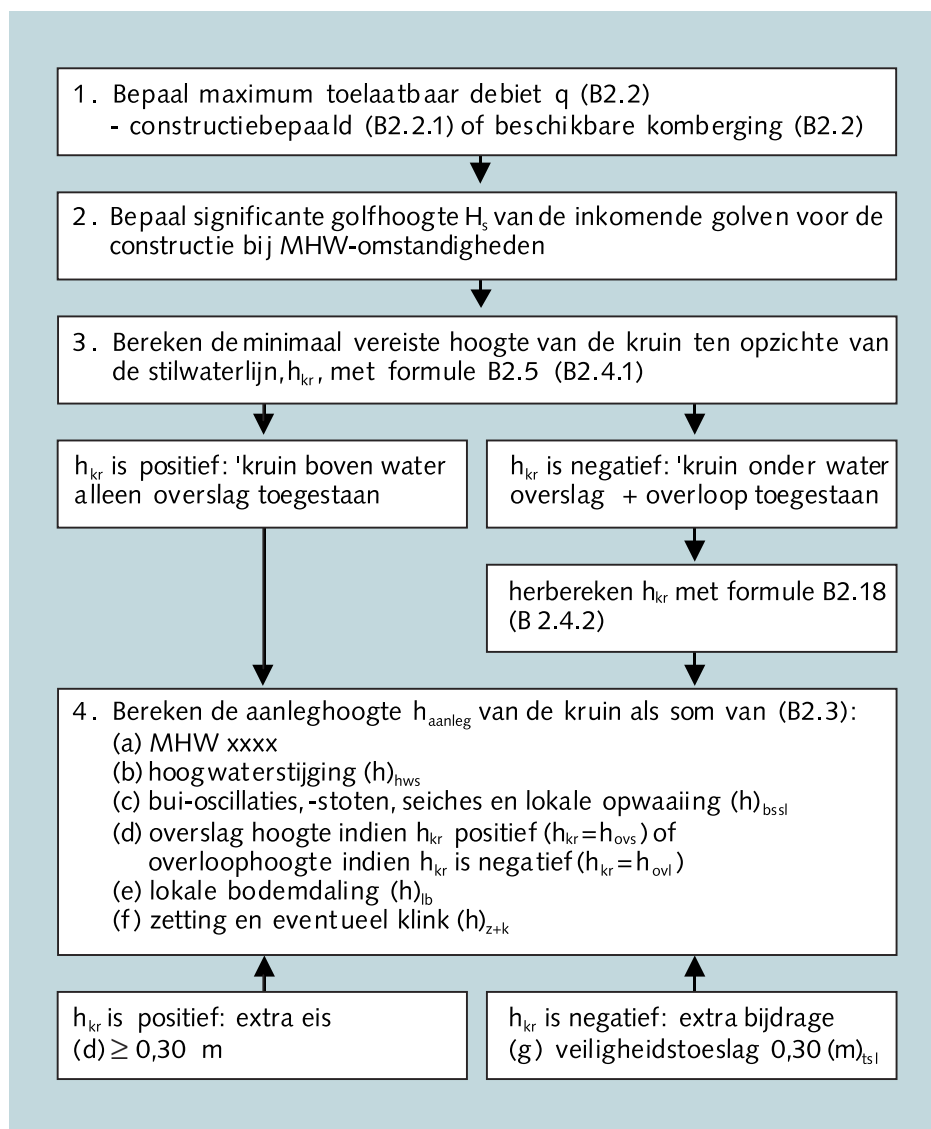
Waterkerende kunstwerken zijn in de regel goed bestand tegen grote hoeveelheden overslaand en overlopend water. Derhalve mag in het algemeen rekening worden gehouden met grote overslagdebieten. Echter, aan bovengenoemde keerwanden, dijkmuurtjes en kistdammen, en ook aan coupures, kunnen mogelijk dezelfde eisen worden gesteld als aan dijken. Reden daarvoor is dat in die situaties de toelaatbare hoeveelheid golfoverslag veelal beperkt wordt in verband met erosiebestendigheid van het binnentalud of bereikbaarheid van de dijk.

In deze bijlage worden twee methoden behandeld om de kerende hoogte van kunstwerken te bepalen, uitgaande van een maximum toelaatbaar debiet tijdens MHW. De eerste is gebaseerd op eisen ten aanzien van de constructie, de tweede is gebaseerd op het bergend vermogen van het achter het kunstwerk gelegen gebied.

Beide methoden kunnen complementair zijn. Bij toepassing van de methode 'maximum debiet tijdens MHW' moet gecontroleerd worden of de komberging voldoende is; bij toepassing van de kombergingsmethode moet gecontroleerd worden of het maximum toelaatbare debiet tijdens MHW niet wordt overschreden. Het ontwerpschema voor bepaling van de aanleghoogte van een kruin is gegeven in figuur B2.1, met een relatie naar de paragrafen waar de beschrijving in detail wordt gegeven. Als eerste dient het toelaatbare debiet te worden vastgesteld.

De aanleghoogte van de 'kruin' van een waterkerend kunstwerk wordt bepaald door de som van een aantal bijdragen. Eén van deze bijdragen is de benodigde overslag- of overloophoogte, waarvoor in deze bijlage een berekeningsmethode wordt gegeven. Bij alleen golfoverslag ligt de kruin van het kunstwerk boven de waterstand (stilwaterlijn), bij overlopen ligt deze beneden de waterstand, waarbij overigens nog wel golven invloed kunnen hebben. Deze overslag- of overloophoogte wordt berekend bij een waterstand aan het eind van de planperiode. Hierbij wordt rekening gehouden met bijvoorbeeld een te verwachten hoogwaterstijging. Bij berekening van de aanleghoogte van de kruin moet dan nog rekening worden gehouden met eventuele bodemdaling en zetting van de ondergrond.

Figuur B2.1
Ontwerpschema bere-
kening aanleghoogte
van de kruin



B2.2 Vaststellen toelaatbaar golfoverslag- of overloopdebiet

B2.2.1 Toelaatbare overslag – constructiebepaald

Uit het oogpunt van stabiliteit van de kerende constructie zelf kan er een eis bestaan ten aanzien van toelaatbare overslag. De ontwerper of toetser dient te verifiëren dat de constructie (of eigenlijk de door overslaand water belaste onderdelen daarvan, zoals de bodembescherming achter het kunstwerk) in staat is overslaand water te weerstaan, of de beheerder moet hier al een eis voor hebben geformuleerd. Bij veel kunstwerken zou een groot overslagdebiet vanuit constructief oogpunt acceptabel kunnen zijn. Bij coupures, kistdammen en dijkmuurtjes is het mogelijk dat het toe-

laatbare overslagdebiet overeenkomt met dat van de aansluitende kering, hoogstwaarschijnlijk een dijk.

Het toelaatbare overslagdebiet wordt in de praktijk vaak gegeven als een gemiddeld debiet in l/s per m breedte (in formules is de eenheid m³/s per m nodig). Bij 10 l/s per m en meer vormt de golfoverslag een niet te onderschatten belasting op de kruin en de binnenzijde van de constructie en is de overslag ook zo groot dat rekening moet worden gehouden met de toelaatbare komberging. Overslagdebieten van 100 tot 1000 l/s per m en meer kunnen alleen worden toegestaan als de constructie volledig overslagbestendig is en de belastingen door golven en stroming kan weerstaan.

Het toelaatbare overslagdebiet is een rekengrootheid. In werkelijkheid is er geen constant debiet, maar gaat er nu en dan bij een hoge golf een grote hoeveelheid water over de constructie heen en dan weer een lange tijd niets. Deze overslaghoeveelheden per golf hangen af van de golfhoogte en de afstand tussen de waterstand (stilwaterlijn) en de kruinhoogte. Hoe groter de golfhoogte hoe groter de hoeveelheden in een hoge overslag kunnen zijn, overigens bij eenzelfde gemiddeld overslagdebiet. Een paar grote overslaande golven kunnen immers eenzelfde debiet geven als vele kleine golfjes. Deze aspecten dienen te worden meegenomen bij het vaststellen van het toelaatbare overslagdebiet op basis van de constructie zelf met aanliggende onderdelen.

Bij overlopen kunnen grote debieten ontstaan, die de constructie ook moet kunnen weerstaan.

B2.2.2 Toelaatbare overslag in verband met komberging

Het toelaatbare volume water dat gedurende de hoogwaterperiode over het kunstwerk mag stromen is gelijk aan het kombergend vermogen van het achter het kunstwerk gelegen open water. Indien meerdere kunstwerken op hetzelfde open water lozen dient het toelaatbare volume per kunstwerk evenredig te worden verminderd. Het kombergend vermogen is gelijk aan het oppervlak van het open water vermenigvuldigd met de toelaatbare peilverhoging:

$$K = A h_{pvh} \quad (B2.1)$$

met: K = het kombergend vermogen [m³]

A = het oppervlak van het open binnenwater dat aan het kunstwerk grenst [m²]

h_{pvh} = de toelaatbare peilverhoging op het open water [m]

De toelaatbare peilverhoging moet in principe door de beheerder vastgesteld worden, bijvoorbeeld gelijk aan de maaiveldhoogte verminderd met een rekenwaarde voor het winterpeil in het open water. Bij het vaststellen van de rekenwaarde voor het winterpeil dient rekening te worden gehouden met een mogelijk regenachtige periode voorafgaand aan het hoogwater. Veelal zal dit peil hoger zijn dan het gemiddelde peil of streefpeil. Deze rekenwaarde dient te worden bepaald aan de hand van beheergegevens. In principe kan hiervoor het peil met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar worden genomen.

De toelaatbare peilverhoging kan ook afhankelijk zijn van andere zaken, zoals bijvoorbeeld de hoeveelheid zout water die acceptabel wordt geacht, of een peil waarbij (te veel) schade kan ontstaan. In stedelijke gebieden kan deze schade bepalend zijn voor het vaststellen van een toelaatbare peilverhoging.

Vervolgens wordt het toelaatbare overslagvolume per breedte-eenheid van het kunstwerk of de constructie bepaald:

$$V_B = K/B \quad (B2.2)$$

met: V_B = het totale toelaatbare volume water gedurende een hoogwaterperiode per breedte-eenheid van het kunstwerk
[m³/m]

B = de totale breedte van het kunstwerk [m]

Om te komen tot een toelaatbaar overslagdebiet in verband met komberging, moet het waterstandsverloop, zoals gegeven in de Leidraad Zee- en Meerdijken of de Leidraden voor de Rivierdijken, in beschouwing worden genomen. Een eenvoudige methode is een tijdsduur te bepalen, waarin wordt verondersteld dat de maatgevende belasting constant aanwezig is. Met deze tijdsduur ontstaat dan een toelaatbaar overslagdebiet in verband met komberging:

$$q = V_B/t \quad (B2.3)$$

met: q = toelaatbaar overslagdebiet [m³/s per m]

t = tijdsduur met constant veronderstelde belasting [s]

Met behulp van het toelaatbare overslagdebiet kan een benodigde kruinhoogte of overslaghoogte worden berekend. Een meer gedetailleerde methode is het juiste waterstandsverloop in acht te nemen en voor verschillende niveaus met bijbehorende tijdsduren het overslagvolume te bepalen bij een aangenomen kruinhoogte. Het totale volume mag niet

groter zijn dan V_B in formule B2.2 en de benodigde kruinhoogte of overslaghoogte moet dan iteratief worden berekend.

N.B. In geval van meerdere, zeg n , kunstwerken met in principe verschillende kruinhoogte en onder verschillende hydraulische belastingen, maar die wel allen op hetzelfde binnenwater lozen geldt:

$$K \mid \sum_{i=1}^n V_{B,i} B_i$$

met: $V_{B,i}$ = toelaatbaar overslagvolume water per breedte-eenheid
over kunstwerk i gedurende een hoogwaterperiode [m^3/m]
 B_i = breedte van kunstwerk i [m]

B2.3 De aanleghoogte van de 'kruin'

De aanleghoogte van de kruin wordt bepaald door de som van een aantal bijdragen. In figuren B2.2 en B2.3 worden deze bijdragen gegeven, waarbij de eerste figuur de situatie van golfoverslag geeft (kruinhoogte boven de waterstand) en de tweede figuur de situatie met overlopen (kruinhoogte beneden de waterstand). De bijdragen zijn:

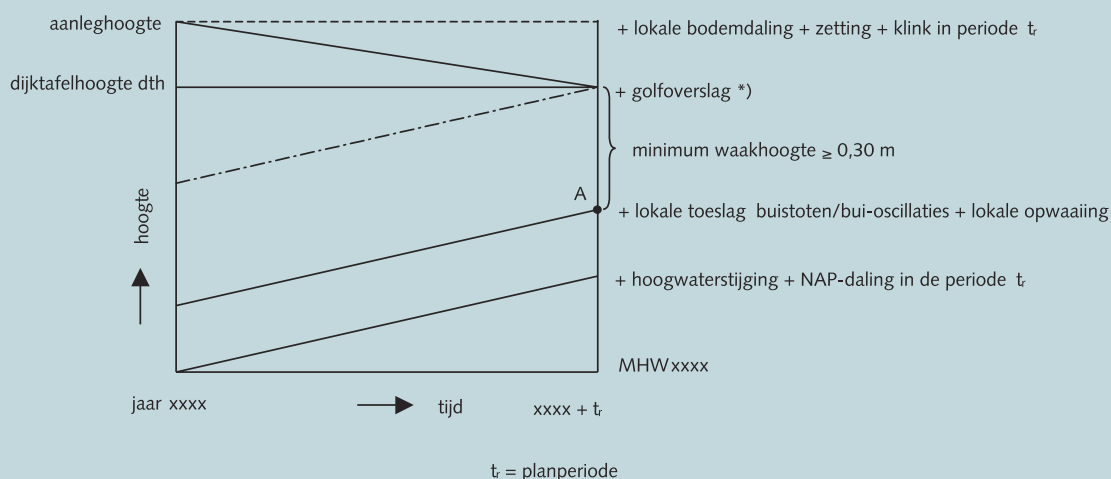
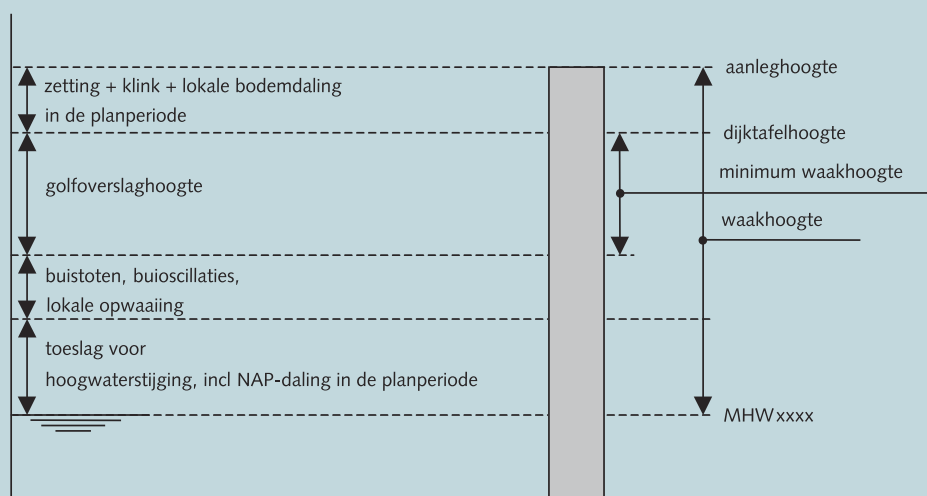
- de waterstand met een overschrijdingskans overeenkomstig de wettelijke norm: de maatgevende hoogwaterstand MHW xxxx, waarin xxxx staat voor het jaar van vaststelling;
- de hoogwaterstijging (inclusief de NAP-daling) over de planperiode;
- een toeslag voor bui-oscillaties, buistoten en seiches; (lokale) opwaaiing wordt alleen in rekening gebracht als deze niet reeds in de waterstandsstatistiek is verwerkt;
- de golfoverslaghoogte (figuur B2.2) of overloophoogte (figuur B2.3), die behoort bij een toelaatbaar debiet;
- de lokaal verwachte bodemdaling over de planperiode;
- de verwachte kruindaling door zetting van de ondergrond over de planperiode, na de oplevering.

De bijdrage (a) staat, voor het buitenwater, in de nota 'Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen' [ref. B2.3]. Voor het vaststellen van bijdrage (b) kan gebruik worden gemaakt van diezelfde nota, of van de 'Kustnota' waarin een hogere verwachte hoogwaterstijging is genoemd. Voor binnenwater staat de aan te houden maatgevende hoogwaterstand veelal in de legger en het beheerplan van de beheerder. De bijdragen (a), (b), (c) en (e) zijn niet beïnvloedbaar. De bijdragen (d) en (f) zijn wel beïnvloedbaar.

Figuur B2.2

Bijdragen aan de aanleghoogte bij golfoverslag

De formules om bijdrage (d), de golfoverslag- of overloophoogte, te berekenen worden in paragraaf B2.4 gegeven. De berekening vindt plaats bij een waterstand gelijk aan (a) + (b) + (c). De golfoverslaghoogte wordt bij deze waterstand opgeteld (figuur B2.2), een eventuele overloophoogte wordt ervan afgetrokken (figuur B2.3). Let op: de waterstand (a) zit in figuur B2.2 onderaan de figuur en in figuur B2.3 halverwege!



- *) berekend bij waterstand A, rekening houdend met lokale bodemdaling + verandering voorland (t.b.v. waterdiepte) in de planperiode
- MHW xxxx wordt eens per 5 jaar herzien
- verhoging MHW tijdens planperiode betekent geen verandering dijktafelhoogte (dth) maar verkorting t_r
- verandering dth als $t_r \leq 0$

Het begrip waakhoogte is geen aanduiding van een hoogtemaat, maar geeft een verschil aan tussen twee niveaus: de aanleghoogte en de MHW. In geval van een golfoverslagsituatie mag de waakhoogte nooit kleiner zijn dan de som van de golfoverslaghoogte en de in rekening te brengen waterstandsverhogingen als gevolg van buistoten, bui-oscillaties en lokale opwaaiing: dit is de minimale waakhoogte. In het rapport van de Delta-commissie 'Rapport van de stormvloed 1953' [ref. B2.4] is aanbevolen als minimale maat voor de waakhoogte enkele decimeters aan te houden.

Een minimale waakhoogte speelt een rol als de te verwachten golfaanval klein is. In dat geval wordt de situatie beheerst door de waterstand. De Deltacommissie constateerde 'dat tijdens de ramp van 1953 vooral van de stormstreek af gelegen hoofdwaterkeringen zijn bezweken. Hun waakhoogte, die vanzelfsprekend klein was, vergeleken met die van de op de stormstreek gelegen hoofdwaterkeringen, schoot spoedig tekort, toen de stormvloedstand steeg boven het peil, waarop de dijk destijds was berekend. Bij deze gelegenheid bleek dat in vele gevallen in de grote waakhoogten van de sterk aangevallen dijkvakken een belangrijke reserve schuilt met het oog op overschrijdingen van het ontwerppeil. Het verdient daarom aanbeveling in het bijzonder aandacht te schenken aan de waakhoogte van de hoofdwaterkeringen langs havens en wateren, waar weinig golfslag is te verwachten.' [Einde citaat]

Bij een kruinhoogte boven de ontwerpwaterstand wordt voorgesteld een minimale waakhoogte van 0,3 m aan te houden.

In het geval dat overlopen (inclusief eventuele golfaanval) wordt toegestaan, geldt de definitie van minimale waakhoogte niet meer, aangezien de kruin beneden de ontwerpwaterstand komt te liggen. Juist in het geval van overlopen heeft het overschrijden van de ontwerpwaterstand grote gevolgen. Als bijvoorbeeld overlopen wordt toegestaan omdat er een behoorlijke komberging aanwezig is, en de ontwerpwaterstand wordt met enige decimeters overschreden, dan kan het toelaatbare overloopdebiet globaal met een factor 2-10 worden overschreden! En met deze factor ook de toe te laten stijging in het kombergingsgebied, hetgeen waarschijnlijk onmiddellijk overstroming tot gevolg zal hebben. Daarom wordt voorgesteld bij overlopen altijd een extra hoogte aan te brengen ten opzichte van de berekende, benodigde overloophoogte. Deze extra hoogte, de veiligheidstoeslag, wordt vastgesteld op 0,3 m.

Nadat alle bijdragen, inclusief de benodigde golfoverslag- of overloophoogte, zijn bepaald kan de aanleghoogte van de kruin worden bere-

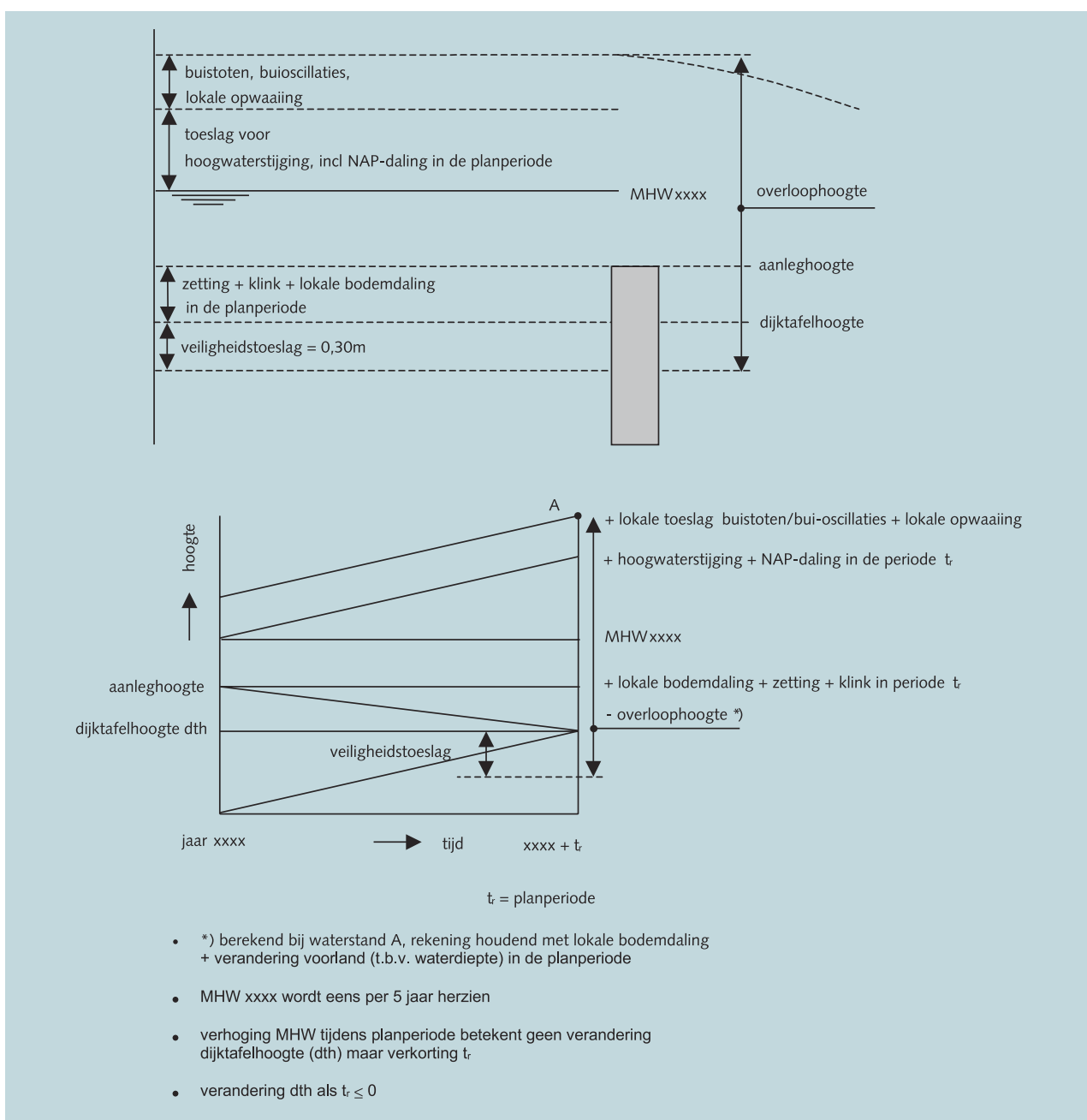
kend. Deze is voor golfoverslag en voor overlopen iets verschillend.

Bij golfoverslag wordt de aanleghoogte als volgt bepaald, zie figuur B2.2:

1. Bepaal MHW xxxx en tel hierbij de bijdragen (b) en (c) op.
2. Bepaal de benodigde golfoverslaghoogte (d) bij deze waterstand (paragraaf 2.4.1). De minimum waakhoogte, bijdragen (c) + (d), is 0,3 m.
3. Tel bij deze totale hoogte de bijdragen (e) en (f) op. Dit levert de aanleghoogte.

Figuur B2.3

Bijdragen aan de aanleghoogte bij overlopen



Bij het toestaan van overlopen is de procedure iets anders, zie figuur B2.3:

1. Bepaal MHW xxxx en tel hierbij bijdragen (b) en (c) op.
2. Bepaal de toe te laten overloophoogte (d) bij deze waterstand (paragraaf 2.4.2). Trek deze hoogte van de waterstand af.
3. Tel bij deze hoogte een extra hoogtetoeslag in verband met toelaatbare overloop (g) op van 0,3 m.
4. Tel bij deze totale hoogte de bijdragen (e) en (f) op. Dit levert de aanleghoogte.

B2.4 Berekening benodigde golfoverslag- of overloophoogte

B2.4.1 Rekenmethode voor de golfoverslaghoogte

De golfoverslaghoogte is een onderdeel van de benodigde kruinhoogte, zie paragraaf B2.3 en figuur B2.2 betreffende de aanleghoogte. De golfoverslaghoogte h_{kr} is het hoogteverschil tussen de kruinhoogte en de aanwezige waterstand. Deze is positief in het geval van een golfoverslaghoogte (de kruin ligt boven de waterlijn).

Het toelaatbare overslagdebiet is met behulp van paragraaf B2.2 bepaald. Bij gegeven toelaatbaar overslagdebiet en gegeven randvoorwaarden (ontwerpwaterstand en golven) kan vervolgens de benodigde kruinhoogte worden berekend. Met dezelfde formules kan natuurlijk ook een overslagdebiet worden berekend bij gegeven randvoorwaarden en aanwezige kruinhoogte. De formules voor golfoverslag en een kruin boven de waterlijn worden in deze paragraaf gegeven.

Als basis wordt golfoverslag over een verticale wand met loodrechte golfaanval genomen, zonder de invloed van wind. De kruinhoogte ligt boven de waterlijn. Daarna worden de volgende aspecten toegevoegd:

- invloed hoek van golfaanval;
- invloed wind;
- invloed neus;
- overslagvolumes per golf.

De basisformule voor het overslagdebiet over verticale constructies, waarbij geen zwaar breken van golven vlak voor de constructie plaatsvindt, wordt gegeven door:

$$q \mid 0,13 \sqrt{g H_s^3} \exp\left(43,0 \frac{h_{kr}}{H_s} \frac{1}{v_\eta v_n}\right) \quad (\text{B2.4})$$

met: $q =$	gemiddeld overslagdebiet [m^3/s per strekkende m breedte]
$g =$	versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
$H_s =$	significante inkomende golfhoogte vlak voor de constructie [m]
$h_{kr} =$	hoogte van de kruin boven de stilwaterstand [m]
$\gamma_\beta =$	invloedsfactor voor scheve golfaanval
$\gamma_n =$	invloedsfactor voor een neus bovenaan de constructie

Voor achtergronden van deze formule en hierna volgende formules wordt verwezen naar 'Kerende hoogte kunstwerken (methodiek)' [ref. B2.5]. Formule B2.4 kan worden omgeschreven en leidt dan direct tot de bepaling van de benodigde overslaghoogte, gegeven het toelaatbare overslagdebiet:

$$h_{kr} \geq \frac{1}{3} \gamma_n \gamma_\beta H_s \ln[q / (0,13 \sqrt{g H_s^3})] \quad (\text{B2.5})$$

Voorgaande geldt bij een deterministische berekening. Bij een probabilistische berekening moet in plaats van 0,13 een stochast worden aangehouden met een log-normale verdeling met gemiddelde 0,34 en standaardafwijking 0,09. Voor achtergronden wordt verwezen naar 'Kerende hoogte kunstwerken (methodiek)'.

Invloed scheve golfaanval

De grootste golfoverslag wordt gevonden bij loodrechte golfaanval. Het is echter mogelijk dat de maatgevende situatie golven oplevert die de constructie onder een hoek β met de normaal van de constructie aanvalen. Als golven onder een hoek aanvallen kan een invloedsfactor γ_b in formules B2.4 en B2.5 worden meegenomen:

- $\gamma_b = 1$ voor $\beta \leq 20^\circ$;
- $\gamma_b = \cos(\beta - 20^\circ)$ voor $\beta > 20^\circ$, met een minimum van $\gamma_b = 0,7$ (B2.6)
- Bij overgang naar strijkgolven en aflandige wind reduceert γ_b tot nul.

Invloed van wind

Als er redelijk veel golfoverslag is of mag worden toegelaten, dan zal wind nauwelijks bijdragen aan een grotere golfoverslag. Voor grote overslagdebieten wordt daarom de invloed van wind niet aanwezig geacht. Dit zal in de regel zo zijn voor kunstwerken. Voor kleine overslagdebieten kan de wind wel een invloed hebben en het overslagdebiet maximaal met een factor 3 versterken. Dit zou kunnen gelden bij kruinmuurtjes of coupures. De invloed van de wind kan als volgt worden weergegeven:

- als $q > 10 \text{ l/s per m}$, dan heeft de wind geen invloed;

- als $q < 1$ l/s per m, dan moet het overslagdebiet met een factor 3 worden verhoogd (B2.7)
- voor tussenliggende situaties kan worden geïnterpoleerd.

Mogelijke reductie door een neusconstructie

Een kunstwerk met een neus kan de golfoverslag aanzienlijk reduceren, als de golfoverslag tenminste niet al te groot is. De neus moet wel aan bepaalde minimale afmetingen voldoen, zie de Leidraad Zee- en Meerdijken. De invloedsfactor voor een neus wordt als volgt gegeven:

$$\gamma_n = 1,0 \text{ als } h_{kr}/H_s \leq 0,5 \text{ en } \gamma_n = 0,7 \text{ als } h_{kr}/H_s > 1,0 \quad (\text{B2.8})$$

Voor tussenliggende waarden kan lineair worden geïnterpoleerd:

$$\gamma_n = 1,3 - 0,6 h_{kr}/H_s \text{ voor } 0,5 < h_{kr}/H_s \leq 1,0 \quad (\text{B2.9})$$

Bij afwezigheid van een neusconstructie geldt $\gamma_n = 1$.

Overslaghoeveelheden per golf

Met voorgaande formules kan de benodigde golfoverslaghoogte of een overslagdebiet worden berekend, inclusief een aantal invloedsfactoren. In sommige gevallen kan het nodig zijn iets meer te weten over de daadwerkelijke overslaghoeveelheden die per golf over de constructie slaan en ook hoeveel golven over de constructie slaan. Dit in verband met belastingen op het binnentalud, eventuele veiligheid van personen achter de constructie of belastingen op bijvoorbeeld pijpleidingen of andere constructies.

Hoe hoger de constructie, hoe minder golven er overheen zullen gaan. Het percentage overslaande golven, P_{ov} , kan worden berekend met:

$$P_{ov} = 100 \exp \left\{ -4 \left(\frac{h_{kr}}{H_s} \right)^2 \right\} \quad (\text{B2.10})$$

Het totale aantal overslaande golven, N_{ov} , gedurende een storm is:

$$N_{ov} = P_{ov} * N/100 \quad (\text{B2.11})$$

met:

N = het aantal inkomende golven gedurende de beschouwde stormduur (N = stormduur/gemiddelde golfperiode).

De golven die over een constructie slaan, geven niet allemaal dezelfde overslaghoeveelheid. Hoge golven zullen meer overslag geven dan lage golven. Het is mogelijk een overslagverdeling per golf te berekenen, maar het is inzichtelijker enkele karakteristieke overslaghoeveelheden per golf te geven:

- de grootste hoeveelheid, die er bij de hoogste golf overheen slaat:

$$V_{\max} = a[\ln(N_{ov})]^{4/3} \text{ [m}^3 \text{ per m]} \quad (\text{B2.12})$$

- de hoeveelheid die bij 10% *van de overslaande golven* wordt overschreden:

$$V_{10\%} = 3,04 a \text{ [m}^3 \text{ per m]} \quad (\text{B2.13})$$

- de hoeveelheid die bij de helft *van de overslaande golven* wordt overschreden:

$$V_{50\%} = 0,61 a \text{ [m}^3 \text{ per m]} \quad (\text{B2.14})$$

met:

$a = 84 T_m q/P_{ov}$, waarin T_m = de gemiddelde golfperiode.

Ter illustratie het volgende voorbeeld: een sluisdeur met een kruinhoogte van 1,24 m boven de waterstand en een significante golfhoogte van de inkomende golven vlak voor de constructie van $H_s = 1$ m, geeft met formule B2.4 een overslagdebiet van 10 l/s per m (0,01 m³/s per m). Met formule B2.10 wordt berekend dat 16%, dus ongeveer 1/6 van de golven, over de sluisdeur slaat. Als wordt uitgegaan van een stormduur (met constante waterstand) van 6 uur en een gemiddelde golfperiode van $T_m = 4$ s, dan geeft formule B2.12 aan dat de grootste hoeveelheid overslaand water 2,7 m³ per m breedte per golf bedraagt. In 10% van de overslaande golven (dit zijn er ongeveer 90) is de overslaande hoeveelheid groter dan 0,6 m³ per m per golf, ofwel 600 l per m (formule B2.13). In de helft van de overslaande golven wordt een overslaghoeveelheid bereikt dat groter is dan 120 l per m breedte. Dit allemaal bij een gemiddeld overslagdebiet van 10 l/s per m.

B2.4.2 Bepaling van de benodigde overloophoogte

Een kunstwerk kan zo sterk zijn dat er op basis van stabiliteit grote overslagdebieten mogen worden toegelaten. Ook is het mogelijk dat er tevens een grote komberging bestaat en dat vanuit dat oogpunt ook een (zeer) groot overslagdebiet mag worden toegelaten. In zo'n geval is het mogelijk dat een kruinhoogte beneden de waterstand acceptabel is en dat overlopen kan worden toegestaan. Hierbij is het nog steeds mogelijk

dat ook golven een rol spelen. De situatie van overlopen, eventueel in combinatie met golfoverslag, wordt hier beschreven.

Het uitgangspunt is dat de kruin beneden de waterstand ligt en dat daarmee h_{kr} een *negatieve* waarde krijgt. Als de kruin van de constructie precies op de waterlijn ligt, dan is het golfoverslagdebiet (formule B2.4 met $h_{kr} = 0$):

$$q \mid 0,13 \sqrt{g H_s^3} \quad (B2.15)$$

Dit is het maximale golfoverslagdebiet. Hierbij wordt overigens opgemerkt dat het onderzoek op basis waarvan de formule B2.4 is bepaald, beperkt is gebleven tot situaties waarbij $h_{kr} > 0,4 H_s$, en dus dat de berekende golfoverslagdebieten bij lagere kruinhoogte moeten worden beschouwd als een schatting.

Bij een nog lagere kruinhoogte wordt verondersteld dat het golfoverslagdebiet gelijk blijft en dat daarbij nog eens een overloopdebiet moet worden opgeteld.

Als voor overlopen een volkomen korte overlaat wordt aangenomen dan is het overloopdebiet (zonder golfwerking):

$$q \mid 0,55 m \sqrt{4 g h_{kr}^3} \quad (B2.16)$$

De factor m varieert afhankelijk van de straal R van de kruin en de overloophoogte H :

- de maximum waarde van bedraagt 1,3 bij $R/H = 0,6$ à 2 ;
- voor grotere R/H neemt m af; bij $R/H = 6$ nadert m tot 1 (een lange overlaat);
- voor $R/H < 0,6$ laat de stroming los en neemt m ook af;
- voor een scherpe, beluchte overlaat ($R/H = 0$) nadert m ook tot 1, mits de overstorthoogte veel kleiner is dan de bovenstroomse waterdiepte of de breedte van de straal veel kleiner is dan de bovenstroomse breedte.

Voor het vervolg in deze paragraaf wordt $m = 1,1$ aangehouden. Het totale debiet bij overlopen, inclusief golfwerking, wordt dan:

$$q \mid 0,6 \sqrt{4 g h_{kr}^3} + 2 \cdot 0,13 \sqrt{g H_s^3} \quad (B2.17)$$

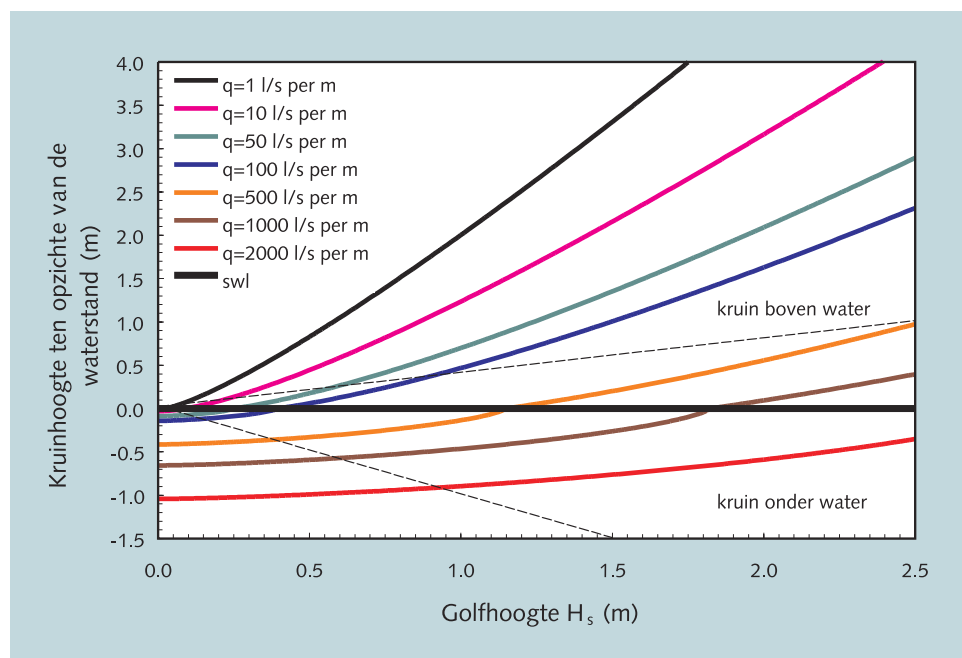
In formules B2.16 en B2.17 is natuurlijk de kruinhoogte h_{kr} negatief (de kruin ligt beneden de waterstand). De benodigde kruinhoogte, gegeven een toelaatbaar overslag- en overloopdebiet, volgt uit formule B2.17 na omschrijving:

$$h_{kr} = 4 \left\{ (q + 0,13 \sqrt{g H_s^3}) / (0,6 \sqrt{g}) \right\}^{2/3} \quad (\text{B2.18})$$

B2.4.3 Visualisatie van golfoverslag en overlopen

Met de formules in voorgaande paragrafen kan een overslagdebiet worden bepaald, eventueel in combinatie met overlopen, en kan ook een benodigde kruinhoogte worden bepaald gegeven een toe te laten debiet. Bij een waterstand gelijk aan de kruinhoogte sluit de formule voor overslag aan op die voor overlopen. Het een en ander kan ook overzichtelijk in een figuur worden gezet, zie figuur B2.4. In deze figuur zijn debieten gekozen tussen 1 l/s per m en 2000 l/s per m, dus een heel breed bereik. Het golfhoogtebereik loopt van $H_s = 0 - 2,5$ m. De horizontale lijn duidt de situatie aan waarbij de waterstand of stilwaterlijn (swl) precies gelijk is aan de kruinhoogte.

*Figuur B2.4
Debiet over verticale
constructie als functie
van kruinhoogte en
golfhoogte*



De lijnen boven de stilwaterlijn worden gegeven door golfoverslag (formules in paragraaf B2.4.1) en die beneden de stilwaterlijn door golfoverslag in combinatie met overlopen (formules in paragraaf B2.4.2). Duidelijk is in de figuur te zien dat bij niet al te grote debieten de golfhoogte een

grote rol speelt bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte. Voor heel grote debieten is te zien dat overlopen mag worden toegestaan en dat de golfhoogte nauwelijks nog een rol speelt bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte, want de lijnen lopen maar heel flauw op.

Verder valt op dat een kleine variatie in overloophoogte (dus voor negatieve waarden van de kruinhoogte), grote veranderingen in debieten met zich mee brengt. Dat is ook de reden waarom een extra hoogte in rekening wordt gebracht in geval van overlopen.

In het gebied tussen de stippellijnen is sprake van een grotere onzekerheid over het daadwerkelijke totale instromende debiet. In het gebied boven de bovenste stippellijn is sprake van alleen overslag, bij waarden van $h_{kr}/H_s > 0,4$. De resultaten in dit gebied zijn gebaseerd op onderzoek. In het gebied onder de onderste stippellijn wordt het totale instromende debiet gedomineerd door overlopen, waardoor de onzekerheid over het golfoverslagdebiet minder relevant wordt.

B2.5 Uitgewerkte voorbeelden

Voorbeeld 1

Bepaling van de aanleghoogte van een schutsluis in het bovenrivierengebied. De hoogte wordt bepaald aan de hand van toe te laten overslag in verband met komberging.

1. Bepaling toelaatbaar overslagvolume

- lengte kanaal = 30 km;
- breedte kanaal = 62,5 m;
- maximaal winterpeil = NAP + 4,00 m;
- hoogte kade = NAP + 4,60 m;
- maximaal toelaatbaar peil in verband met een minimale waakhoogte van 0,30 m voor de kade: NAP+4.30 m.

Het bergend vermogen is: $30.000 \cdot 62,5 \cdot (4,30 - 4,00) = 562.500 \text{ m}^3$.

In de sluis bevinden zich 2 sluisdeuren van ieder 15 m breed.

Bovendien bevindt zich aan de andere kant van het kanaal, bij de aansluiting op de Waal, eveneens een sluis met 2 deuren van ieder 15 m breed. De overige waterkerende elementen van het sluiscomplex spelen geen rol, deze hebben ruim voldoende hoogte. Het toelaatbare overslagvolume per breedte-eenheid wordt hiermee:

$V_B = 562.500 / (4 \cdot 15) = 9.375 \text{ m}^3/\text{m}$. Opgemerkt wordt dat hierbij

aangenomen is dat beide sluizen gelijktijdig op dezelfde wijze belast worden. Dit is dus een ongunstig scenario, maar wel waarschijnlijk.

2. *Bepaling van het toelaatbare debiet en de bijbehorende golfoverslag- en overloophoogte*

Verondersteld wordt dat gedurende hoog water de waterstand 6 uur lang op een constant peil blijft. Met behulp van het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2001, de leidraden of met behulp van mathematische modellering is bepaald dat de inkomende significante golfhoogte vlak voor de sluisdeur $H_s = 0,7$ m (met een gemiddelde golfperiode van 3 s). Het toe te laten overslag- of overloopdebiet komt daarmee op $q = 9375/(3600 \cdot 6) = 0,434$ m³/s per m.

Het maximum golfoverslagdebiet treedt op als de kruin gelijk ligt met de waterstand, dus $h_{kr} = 0$ m. Met behulp van formule B2.15 ontstaat: $q = 0,239$ m³/s per m. In 6 uur geeft dit een overslagvolume van $V_{ovl} = 0,239 \cdot 6 \cdot 3600 = 5162$ m³/m.

Door golfoverslag alleen kan er dus maximaal 5162 m³/m in het kanaal terecht komen. Dit is kleiner dan de beschikbare komberging. Er kan overloop worden toegelaten.

Met behulp van formule B2.18 kan direct de overloophoogte worden berekend:

$$h_{kr} = -\{(0,434 - 0,239)/(0,6 \sqrt{g \cdot 9,81})\}^{2/3} = -0,22 \text{ m.}$$

3. *Bepaling van de vereiste aanleghoogte:*

Overige gegevens:

- bijdrage (a): MHW = NAP +8,4 m, hierin zijn morfologische effecten verwerkt;
- bijdrage (b): aangenomen is dat de hoogwaterstijging, inclusief de NAP-daling, in de planperiode 0,4 m bedraagt;
- bijdrage (c): voor lokale opwaaiing, buistoten en buioscillaties wordt een waarde van 0,1 m aangehouden;
- bijdragen (e) en (f): klink en zetting spelen geen grote rol en samen met de verwachte lokale bodemdaling wordt in de planperiode een waarde van 0,1 m verwacht. De sluis is diep gefundeerd.

Er geldt in dit geval:

- de waterstand waar aan het eind van de planperiode rekening mee moet worden gehouden is (a) +(b) +(c) = NAP + 8,4 + 0,4 + 0,1 = NAP +8,9 m;
- de overloophoogte is $h_{kr} = -0,2$ m. De extra hoogte, de veilig-

heidstoeslag, die in rekening moet worden gebracht bij overloop is 0,3 m. De vereiste aanleghoogte wordt: de waterstand + overloophoogte + veiligheidstoeslag + bijdragen (e) en (f) = NAP +8,9 – 0,2 +0,3 + 0,1 = NAP +9,1 m.

Voorbeeld 2

Een schutsluis in een haven met daarachter stedelijk gebied. In verband met beperkte komberging mag niet meer dan 20 l/s per m golfoverslagdebiet worden toegelaten. Ook moet worden nagegaan of een neusconstructie een lagere benodigde kruinhoogte oplevert.

1. Toelaatbaar overslagvolume

Het toelaatbare overslagvolume is gebaseerd op een beperkte komberging en omgerekend naar een toelaatbaar golfoverslagdebiet. Dit debiet is groter dan 10 l/s per m, zodat er geen rekening gehouden hoeft te worden met extra overslag door wind (formule B2.7).

2. Bepaling benodigde golfoverslaghoogte

De golfhoogte voor de sluisdeur is berekend op een waarde van $H_s = 0,9$ m. De maatgevende golfrichting is 30° ten opzichte van de normaal van de constructie.

Dit betekent met formule B2.6 een invloedsfactor γ_b van:

$$\gamma_b = \cos(30-20) = 0,98$$

Met formule B2.5 ontstaat de benodigde kruinhoogte:

$$h_{kr} = -1/3 * 0,98 * 1 * 0,9 * \ln[0,02 / (0,13 \sqrt{9,81 * 0,9^3})] = 0,84 \text{ m}$$

De kruinhoogte/golfhoogte-verhouding wordt: $0,84/0,9 = 0,93$. Met formule B2.9 wordt de invloedsfactor voor een neusconstructie gevonden:

$$\gamma_n = 1,3 - 0,6 * 0,93 = 0,74$$

De benodigde kruinhoogte met een neusconstructie wordt:

$h_{kr} = 0,74 * 0,84 = 0,62$ m, een verschil van 0,22 m ten opzichte van een constructie zonder neus.

3. Bepaling van de vereiste aanleghoogte

Overige gegevens:

- bijdrage (a): MHW = NAP +4,8 m;
- bijdrage (b): aangenomen is dat de hoogwaterstijging, inclusief de NAP-daling, in de planperiode 0,65 m bedraagt;
- bijdrage (c): voor lokale opwaaiing, buistoten en buioscillaties wordt aangenomen dat deze in de waterstandstatistiek is verwerkt.

Er wordt geen extra bijdrage aangehouden;

- bijdragen (e) en (f): klink en zetting spelen geen grote rol en samen met de verwachte lokale bodemdaling wordt in de planperiode een waarde van 0,1 m verwacht. De sluis is diep gefundeerd.

Er geldt in dit geval:

- de waterstand waar aan het eind van de planperiode rekening mee moet worden gehouden is (a) +(b) +(c) = NAP + 4,8 + 0,65 + 0,0 = NAP +5,45 m;
- de overslaghoogte is zonder neusconstructie 0,84 m en met neus 0,62 m. Beide zijn groter dan de minimale waakhoogte van 0,3 m.

De vereiste aanleghoogte wordt:

de waterstand + overslaghoogte + bijdragen (e) en

(f) = NAP + 5,45 + 0,84 + 0,1 = NAP +6,41 m. Met een neus-constructie wordt dit NAP +6,19 m.

Voorbeeld 3

Dezelfde golfrandvoorwaarden als bij voorbeeld 2, maar nu voor een verticale keermuur op een kade. De kade ligt op NAP = 2,0 m. In verband met gebouwen en andere constructies achter de keermuur is het toelaatbare golfoverslagdebiet vastgesteld op 1 l/s per m.

1. Toelaatbaar overslagvolume

Het toelaatbare overslagvolume is hier niet van belang, alleen een toelaatbaar golfoverslagdebiet. Dit debiet is kleiner dan 10 l/s per m, zodat er rekening gehouden moet worden met extra overslag door wind (formule B2.7). In feite wordt door wind het overslagdebiet verdrievoudigd, zodat de benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 1/3 l/s per m moet worden berekend in plaats van voor 1 l/s per m.

2. Bepaling benodigde golfoverslaghoogte

De invloedsfactor γ_b voor scheve golfaanval is gelijk aan voorbeeld 2: $\gamma_b = 0,98$.

Met formule B2.5 en B2.7 ontstaat de benodigde kruinhoogte:

$$h_{kr} = -1/3 * 0,98 * 1 * 0,9 * \ln[0,001 / (3 * 0,13 \sqrt{9,81 * 0,9^3})] = 2,04 \text{ m}$$

De kruinhoogte/golfhoogte-verhouding wordt: $2,04/0,9 = 2,27$.

Met formule B2.8 wordt de maximale invloedsfactor voor een neusconstructie gevonden: $\gamma_n = 0,7$.

De benodigde kruinhoogte met een neusconstructie wordt:

$h_{kr} = 0,7 * 2,04 = 1,43$ m, een verschil van 0,61 m ten opzichte van een constructie zonder neus.

3. *Bepaling van de vereiste aanleghoogte*

Overige gegevens:

- bijdrage (a): MHW = NAP +4,8 m;
- bijdrage (b): aangenomen is dat de hoogwaterstijging, inclusief de NAP-daling, in de planperiode een waarde van 0,65 m bedraagt;
- bijdrage (c): voor lokale opwaaiing, buistoten en buioscillaties wordt aangenomen dat deze in de waterstandstatistiek is verwerkt.
Er wordt geen extra bijdrage aangehouden;
- bijdragen (e) en (f): klink en zetting spelen een grotere rol dan bij een sluisdeur en samen met de verwachte lokale bodemdaling wordt in de planperiode een waarde van 0,3 m verwacht.

Er geldt in dit geval:

- de waterstand waar aan het eind van de planperiode rekening mee moet worden gehouden is (a) +(b) +(c) = NAP + 4,8 + 0,65 + 0,0 = NAP +5,45 m;
- de overslaghoogte is zonder neusconstructie 2,04 m en met neus 1,43 m. Beide zijn groter dan de minimale waakhoogte van 0,3 m.

De vereiste aanleghoogte wordt:

de waterstand + overslaghoogte + bijdragen (e) en (f) = NAP + 5,45 + 2,04 + 0,3 = NAP +7,79 m. Met een neusconstructie wordt dit NAP +7,18 m.

4. *Overslaghoeveelheden per golf*

In verband met veiligheid achter de keermuur wordt ook gekeken naar overslaghoeveelheden die in een enkele golf over de muur gaan. Aangenomen wordt dat de stormduur (met constante waterstand) 6 uur bedraagt en dat de gemiddelde golfperiode 3,5 s is. Bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte is rekening gehouden met de windinvloed (een driemaal zo grote overslag als berekend zonder wind). Bij berekening van het percentage overslaande golven moet niet met de berekende kruinhoogte worden gerekend, maar met een kruinhoogte zonder invloed van wind. Anders zou een (veel) te klein percentage overslaande golven worden berekend. De kruinhoogte waarbij het percentage overslaande golven kan worden berekend, volgt uit formule B2.5:

$$h_{kr} = -1/3 * 0,98 * 1 * 0,9 * \ln[0,001 / (0,13 \sqrt{9,81 * 0,9^3})] = 1,72 \text{ m}$$

Het percentage overslaande golven is (formule B2.10):

$$P_{ov} = 100 \exp \{-[1,72 / (0,91 * 0,98 * 1)]^2\} = 2,42 \%$$

In 6 uur zijn $6 * 3600 / 3,5 = 6171$ golven te verwachten en hiervan geven $N_{ov} = 0,0242 * 6171 = 150$ golven een overslag. De factor 'a' in formules B2.12 – B2.14 bedraagt:

$$a = 84 * 3,5 * 0,001 / 2,42 = 0,12 \text{ m}^3/\text{m}.$$

De grootste hoeveelheid die in de hoogste golf over de muur slaat is (formule B2.12):

$$V_{max} = 0,12 * [\ln(150)]^{4/3} = 1,04 \text{ m}^3 \text{ per m. Dit is duizend maal groter dan een debiet van 1 l/s per m.}$$

In 10% van de overslaande golven (dus bij 15 golven) is de hoeveelheid overslag per golf groter dan (formule B2.13):

$$V_{10\%} = 3,04 * 0,12 = 0,37 \text{ m}^3/\text{m} \text{ of } 370 \text{ l per m.}$$

In de helft van de overslaande golven (ongeveer 75) is de hoeveelheid overslag per golf groter dan (formule B2.14):

$$V_{50\%} = 0,61 * 0,12 = 0,074 \text{ m}^3/\text{m} \text{ of } 74 \text{ l per m.}$$

Referenties B2

- B2.1 Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies, WL | Delft Hydraulics, Den Heijer, Verslag H2014, 1998
- B2.2 Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- B2.3 Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2001
- B2.4 Rapport van de stormvloed 1953, Deltacommissie, SDU, Den Haag 1961
- B2.5 Kerende hoogte kunstwerken (methodiek), WL | Delft Hydraulics, J.W. van der Meer, rapport nr. i336, 2000

B3 Betrouwbaarheid sluiting

B3.1 Inleiding

Waterkerende kunstwerken of bijzondere constructies met afsluitmiddelen dienen in geval van een dreigend hoogwater te worden gesloten, dit om te voorkomen dat een te grote hoeveelheid water het achterliggend gebied binnenstroomt en daarmee een waterbezwaar veroorzaakt. In tabel B3.1 is het overzicht gegeven van de in bijlage B1 onderscheiden constructies, en de typering van de daarin aanwezige afsluitmiddelen. Deze typering hangt samen met de primaire functie(s) die het kunstwerk dient te vervullen.

Tabel B3.1
Overzicht onderscheiden constructies en afsluitmiddelen

KUNSTWERK	TYPERING AFSLUITMIDDEL
<i>Waterkerende kunstwerken</i> - schutsluizen - stroomsluizen - keersluizen - hoogwater- en stormvloedkeringen - coupures - gemalen - duikers, hevels - pijpleidingkruisingen - tunnels zonder kanteldijken	in beginsel gesloten te openen op aanvraag te sluiten bij hoogwater te sluiten bij hoogwater te sluiten bij hoogwater te sluiten bij hoogwater te sluiten bij hoogwater te sluiten bij calamiteit te sluiten bij calamiteit
<i>Bijzondere waterkerende constructies</i> - van buiten af aan te voeren kering - roteerbare of verschuifbare kering - kistdammen en diepwanden - cellen- en combiwanden - keermuren, -wanden en kademuren - damwandschermen - palenwanden - keer- en dijkmuurtjes - gabions/gewapende grond	te sluiten bij hoogwater te sluiten bij hoogwater n.v.t. n.v.t. n.v.t. n.v.t. n.v.t. n.v.t. n.v.t.

Aan de gemiddelde kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume buitenwater door het geopende kunstwerk is, uitgaande van de overbelastingsbenadering zoals die in bijlage B1 is beschreven, de volgende eis gesteld:

$$P_{fa} = P\{V_{open} > V_{toel}\} = P_{ns} \cdot N\{V_{open} > V_{toel} \mid ns\} = P_{ns} n_j < 0,1 \times norm \quad (B3.1)$$

met: P_{fa} = kans op falen van het kunstwerk ten gevolge van falend afsluitmiddel [1/jaar]
 P_{ns} = kans op falen van het sluitproces [1/vraag]
 n_j = $N\{V_{open} > V_{toel} \mid ns\}$ = frequentie van overschrijding van het toelaatbaar instroomvolume bij een geopend kunstwerk [vragen/jaar]
norm= de ontwerp- of normfrequentie zoals vastgelegd in de Wet op de waterkering: 1/1250, 1/2000, 1/4000 of 1/10.000 [1/jaar]

Belangrijk uitgangspunt voor de beoordeling van de betrouwbaarheid van de sluiting is derhalve het toelaatbaar instromend volume ofwel de bergingscapaciteit van het achterliggende systeem. In de meeste gevallen wordt het kunstwerk aan de binnenzijde begrensd door een binnenwatersysteem. In dat geval kan het toelaatbaar instromend volume worden afgeleid van het binnenwaterpeil dat nog juist gekeerd kan worden. Dit gegeven moet door de verantwoordelijke beheerder verstrekt worden.

De kans op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume buitenwater hangt af van zowel eigenschappen van het systeem waarin het kunstwerk zijn functie(s) vervult, als van eigenschappen van het kunstwerk zelf. Bedoelde eigenschappen van het systeem zijn met name de frequentieverdeling van hoge buitenwaterstanden, het verloop in de tijd van deze hoge waterstanden en het kombergend vermogen van het achterliggend gebied. Bedoelde eigenschappen van het kunstwerk zelf zijn het type afsluitmiddel en het beoogde gebruik daarvan (zijn afsluitmiddelen in beginsel gesloten, zoals in geval van bijvoorbeeld een schutsluis of een gemaal, of juist in beginsel geopend zoals in geval van bijvoorbeeld een keersluis) de kans dat de sluiting niet op tijd lukt en de hoofdafmetingen van het kunstwerk (met name breedte en hoogteligging van de drempel).

In deze bijlage worden handreikingen gegeven voor de controle van het ontwerp van een kunstwerk op het voldoen aan de bovengenoemde eis. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen een eenvoudige beoordelings-

methode, een gedetailleerde beoordelingsmethode en een geavanceerde beoordelingsmethode. Een geavanceerde beoordeling zal in de regel het meeste werk inhouden, maar geeft daarmee wel het meeste inzicht in de daadwerkelijke betrouwbaarheid van de constructie. In veel gevallen zal dit een scherper en dus goedkoper ontwerp kunnen opleveren. Het is echter een principiële vraag of het altijd wel het meest optimaal is om zo scherp mogelijk te ontwerpen. De praktijk leert dat een robuust ontwerp in veel gevallen op de lange duur zijn extra kosten meer dan terug verdient.

Voor de duidelijkheid wordt opgemerkt dat in deze bijlage uitsluitend het falen van de sluiting van het geopende kunstwerk wordt beschouwd met het oog op mogelijk optredend waterbezwaar in het achterliggend gebied. De eis die het mogelijke falen van de sluiting stelt aan de sterkte en stabiliteit van het overstroomde of doorstroomde kunstwerk valt onder voorwaarde 2 (eis aan de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk) en is behandeld in bijlage B4 'Sterkte en stabiliteit'. Hetzelfde geldt voor de situatie dat een sluiting wel is gelukt en het kunstwerk een verval keert. Door een calamiteit kan dan het reeds gesloten afsluitmiddel falen. Denkbare oorzaken zijn een onvoldoende sterkte van het afsluitmiddel om het verval te keren en het optreden van een (zwarte) aanvaring. Dit falen van het gesloten afsluitmiddel leidt tot een plotseling optredend debiet. De gevolgen van een dergelijke faalwijze kunnen daardoor aanzienlijk ernstiger zijn.

Nadat in de hierna volgende paragraaf B3.2 de belangrijkste begrippen en definities met betrekking tot de beoordeling van niet sluiten worden behandeld, worden in paragraaf B3.3 tot en met B3.5 de drie beoordelingsmethoden beschreven met oplopend detailniveau.

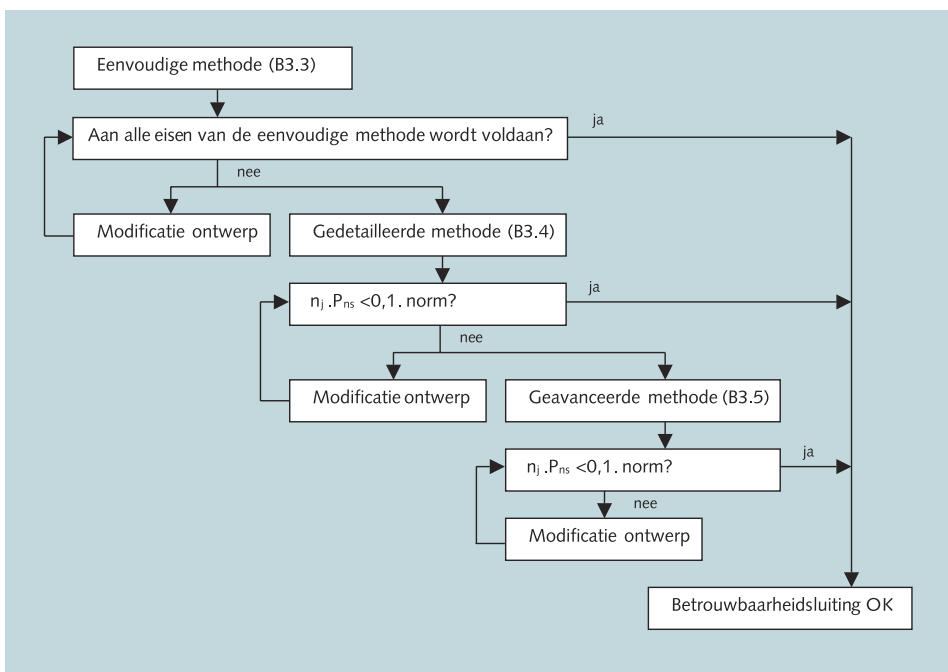
In B3.3 wordt de beoordelingsmethode op het meest eenvoudige niveau beschreven.

In B3.4 wordt een 'raamwerk' voor de gedetailleerde beoordeling opgesteld. Dit raamwerk omvat aanwijzingen voor een meer gedetailleerde vaststelling van het voor het geopende kunstwerk kritieke peil (het zogenaamde open keerpeil of OKP) en de kans op overschrijding daarvan, en daarnaast een standaard foutenboom en daarbij behorende vragenlijst voor de bepaling van de kans op niet sluiten.

In B3.5 worden aanzetten gegeven voor een geavanceerde beoordelingsmethode op basis van de betrouwbaarheidsanalyse

In B3.6 worden aanbevelingen voor sluitingsprocedures gegeven. Daarmee wordt voor de ontwerper inzicht gegeven in de werking van de sluitingsprocedure in de praktijk. Beheerders kunnen er richtlijnen aan ontleen voor een veilig beheer van hun waterkeringen, rekening houdend met specifieke omstandigheden ten aanzien van de beschouwde waterkering en hun organisatie.

De beoordeling van de betrouwbaarheid van de sluiting volgens de hierbovengenoemde beoordelingsmethoden is in figuur B3.1 schematisch weergegeven.



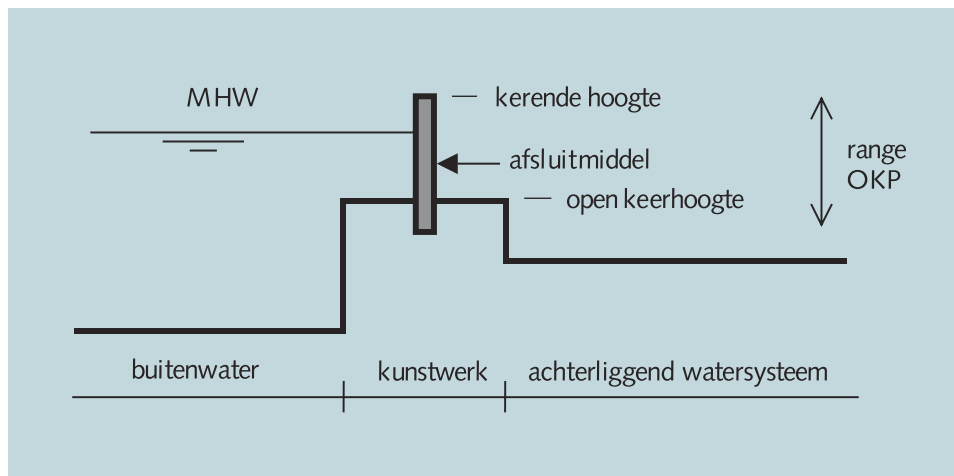
*Figuur B3.1
Beoordeling van de
betrouwbaarheid van de
sluiting*

B3.2 Voornaamste begrippen

In deze paragraaf zijn de voornaamste gebruikte begrippen kort toegelicht. In figuur B3.2 is een schematische dwarsdoorsnede over een kunstwerk met afsluitmiddelen gegeven met daarin de belangrijkste hoogtematen.

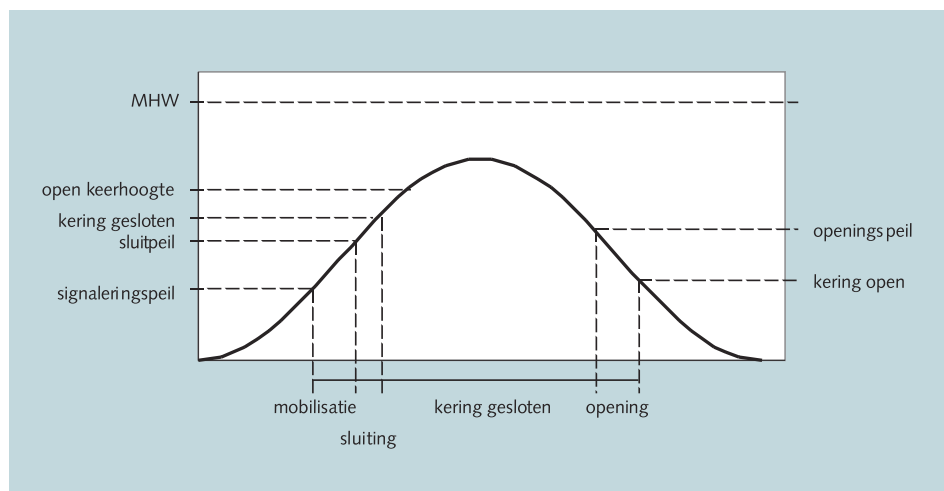
In figuur B3.3 zijn bij een zeker waterstandsverloop in de tijd de belangrijkste peilen aangegeven, waarop beslissingen ten aanzien van mobilisatie en sluiting worden gebaseerd. In deze figuur is het open keerpeil

Figuur B3.2
Dwarsdoorsnede over een kering
(coupure bijvoorbeeld)



(OKP) niet aangegeven. Afhankelijk van ondermeer de gebruikte beoordelingsmethode en het bergend vermogen van het achterliggend systeem kan het OKP zowel boven als onder de open keerhoogte liggen.

Figuur B3.3
Waterstandsverlooplijn
en belangrijkste peilen



B3.3 Eenvoudige beoordelingsmethode betrouwbaarheid sluiting

Deze methode gaat ervan uit dat, indien voldaan wordt aan de hieronder genoemde eisen, men een P_{ns} heeft van hooguit 10^{-3} . Samen met een overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil van maximaal eens per 10 jaar levert dit een faalkans op van maximaal 10^{-4} . Vanwege in de regel aanwezige reserves wordt dit voldoende geacht. Mogelijk is de methode in bepaalde gevallen erg conservatief. De invloed van verschillende functies zou nog kunnen worden toegevoegd.

De eenvoudige methode mag alleen worden toegepast indien het open keerpeil niet vaker dan eens per 10 jaar wordt overschreden.

Als open keerpeil mag men nemen:

- het sluitpeil, of;
- de open keerhoogte verminderd met 0,30 m, of;
- het open keerpeil berekend volgens methode B3.4.

Bij de bepaling van het open keerpeil volgens een van de hier genoemde mogelijkheden moet rekening worden gehouden met de tijdsafhankelijke effecten van hoogwaterstijging (inclusief NAP-daling), zetting en klink, en mogelijke waterstandsverhogingen door buistoten, buioscillaties en lokale opwaaiing.

In de eenvoudige beoordelingsmethode worden afzonderlijke eisen gesteld aan vier aspecten:

- A Hoogwater waarschuwingssysteem.
- B Procedure voor mobilisatie.
- C Procedure voor sluiting.
- D Bedrijfszekerheid van de sluitingsmiddelen.

De eisen A, B en C mogen vervallen als het kunstwerk normaal gesproken gesloten is.

De eisen ten aanzien van A, B, C en D zijn achtereenvolgens:

A Hoogwater waarschuwingssysteem.

1. Er zijn twee onafhankelijk van elkaar functionerende systemen aanwezig. Daarmee is bedoeld dat de belangrijkste faaloorzaken van het ene systeem niet dezelfde mogen zijn als die van het andere systeem. Een voorbeeld waarin dit wel het geval is, is gemeenschappelijke voeding en bekabeling naar het bedieningspaneel van twee aparte niveaumeters. Aanvullende voorwaarde is dat een van de systemen automatisch en zelfregistrerend is, met minimaal een controle per maand.
2. Indien in geval van hoogwater via menselijke handelingen andere personen worden gewaarschuwd, dient de procedure daarvoor schriftelijk te zijn vastgelegd; de procedure wordt minstens eenmaal per jaar uitgevoerd of geoefend. Er dient een terugmelding te worden gegeven na uitvoering van de verdere taken.

B Procedure voor mobilisatie

Indien de kering niet permanent bemand is moet voldaan worden aan de volgende voorwaarden:

1. Er is een procedure waarin staat wie, wanneer en op welke wijze de mobilisatie verzorgt van het bedienend personeel en het ondersteu-

nende technische personeel.

2. Er is een voorwaarschuwingssysteem en een terugmeldingssysteem.
3. Er is een stand-by- en vervangingsrooster waarin ieders taak en verantwoordelijkheid zijn vastgelegd.
4. Er zijn altijd voldoende mensen bereikbaar en inzetbaar.
5. Alle betrokkenen kennen de procedure en hebben deze voldoende (minstens eenmaal per jaar) geoefend.
6. Het kunstwerk is ook bij extreme omstandigheden goed bereikbaar.

C Procedure voor sluiting.

De hoogwaterwaarschuwing kan leiden tot automatische sluiting, in andere gevallen gebeurt de sluiting door bedienend personeel. In beide gevallen moet aan de volgende voorwaarden zijn voldaan:

1. Er is een procedure aanwezig voor een niet-automatische sluiting.
2. In de procedure staat in chronologische volgorde wie welke handelingen verricht, en hoe te handelen bij storingen.
3. Eventuele verkeerde handelingen kunnen worden opgemerkt en gecorrigeerd.
4. De procedure bevat een terugmeldingsplicht
5. Alle betrokkenen kennen de procedure en hebben deze voldoende (minstens eenmaal per jaar) geoefend.
6. Relevante delen van de kering zijn verlicht.
7. Het sleutelbeheer is zo geregeld, dat niemand onbedoeld voor een gesloten deur staat.
8. De communicatie tussen personeel onderling op de kering, binnen en buiten, is goed mogelijk.

D Bedrijfszekerheid van de sluitingsmiddelen.

De eisen zijn:

1. Storingen in de normale sluiting moeten kunnen worden opgevangen via een handbediening of via een alternatief sturingssysteem met een noodaggregaat.
2. Er is een tweede onafhankelijke set afsluitmiddelen.
3. Het primaire keermiddel wordt minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en minstens eenmaal per jaar volledig getest.
4. Het aanvarings- of aanrijdingsrisico is niet bijzonder hoog.

Een tweede set afsluitmiddelen is onafhankelijk van de eerste als het bedieningssysteem van de tweede set onafhankelijk is van het bedieningssysteem (inclusief energielevering) van de eerste. Verder moet de fysieke afstand tussen beide sets voldoende zijn om gelijktijdige blokkering door hetzelfde obstakel te voorkomen.

Voor nadere invulling van de eis aan het aanvaarrisico mag worden uitgegaan van een aanvaarkans leidend tot het onbruikbaar raken van het hoogwaterkerend keermiddel van eens per 1.000.000 passerende schepen (ervaringsgetal o.b.v. het onderzoek 'Aanvaarrisico's sluisdeuren', WL, 1992). De kans op het niet kunnen beschikken over dit afsluitmiddel volgt dan uit het jaarlijks aantal passerende schepen N en een gegarandeerde maximale hersteltijd t (in dagen) middels $N \times t / 365 \times 1.000.000$. Bijvoorbeeld $N = 10.000$ en $t = 14$ dagen levert $10.000 \times 14 / 365 \times 1.000.000 = \text{orde } 10^{-4}$. Dit is een orde kleiner dan de vereiste totaalkans van 10^{-3} en dus voldoende klein.

Normaal gesproken moet op grond van de tweede eis onder (D) sprake zijn van een vaste tweede kering. Voor situaties in het rivierengebied waar men kan aantonen voldoende tijd te hebben voor het aanbrengen van een noodkering, kan daarmee worden volstaan. Er dienen dan voldoende reserve-elementen en materieel aanwezig te zijn.

B3.4 Gedetailleerde beoordelingsmethode betrouwbaarheid sluiting

Deze beoordelingsmethode beoogt een relatief eenvoudig hanteerbaar hulpmiddel te zijn bij de expliciete veiligheidsbeoordeling van waterkerende kunstwerken met beweegbare afsluitmiddelen. Zij is ontwikkeld na bestudering van en toetsing aan een aantal reeds eerder, ook door anderen uitgevoerde, beoordelingen van kunstwerken met beweegbare afsluitmiddelen. De hier gepresenteerde methode heeft niet de pretentie volledig te zijn of beter dan andere methoden. Wel beoogt zij een voorzet te geven tot een algemeen aanvaarde, goede en hanteerbare methode. Opmerkingen en suggesties voor verbetering zijn dan ook van harte welkom (te richten aan de Helpdesk Waterkeren van Rijkswaterstaat DWW).

Binnen de eenvoudige beoordelingsmethode voor de betrouwbaarheid van de sluiting zijn de volgende vijf stappen te onderscheiden:

- stap 1. Inventarisatie van functies en daarmee samenhangende gebruikstoestanden.
- stap 2. Bepalen van het OKP per gebruikstoestand.
- stap 3. Bepalen van de overschrijdingsfrequentie van het OKP per gebruikstoestand.
- stap 4. Bepalen van de kans op niet sluiten per gebruikstoestand
- stap 5. Vergelijking met de norm.

stap 1. Bepaal functies en gebruikstoestanden

Een kunstwerk kan meerdere functies vervullen waarbij het kunstwerk niet hoogwaterkerend is. De totale kans op waterbezwaar ten gevolge van niet sluiten is dan samengesteld uit bijdragen van de verschillende functies en de gebruikstoestanden die daarmee samenhangen. Deze bijdragen kunnen sterk verschillen. Hiervoor zijn drie oorzaken aan te geven:

- de ene functie kan gedurende een groot deel van de tijd worden vervuld, terwijl een andere slechts sporadisch wordt vervuld (bijvoorbeeld incidenteel spuien door een schutsluis);
- het waterkerend vermogen van het geopende kunstwerk kan sterk verschillen per functie;
- de kans op niet sluiten kan afhankelijk zijn van de functie die het kunstwerk op het moment van aanvraag vervult.

Voorbeeld

Een voorbeeld van een kunstwerk waarvan de totale kans op niet sluiten is samengesteld uit bijdragen van verschillende functies en daarmee samenhangende gebruikstoestanden is een schutsluis in het getijdengebied. Stel dat bij laag water wordt gesloten met uitsluitend ebdeuren welke geen negatief verval kunnen keren, dat in geval van stormvloed gebruik wordt gemaakt van een apart stel stormvloeddeuren, en dat de sluis een paar keer per jaar geheel moet worden geopend om overtollig binnenwater af te voeren.

Een dergelijk kunstwerk zal het grootste deel van de tijd zijn schutfunctie vervullen, en daarmee een open keerhoogte hebben welke tijdens eb niet hoger is dan de kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem. Op basis van het gegeven dat het aantal getijdencycli ruim 700 per jaar bedraagt zullen tot maximaal 700 keer per jaar de vloeddeuren van de sluis gesloten moeten worden. Ook tijdens het spuien is sprake van een open keerhoogte die niet hoger is dan de kerende hoogte van de kaden langs het achterliggende (binnen)watersysteem. Het komt echter maar een paar keer per jaar voor dat de in verband met spuien geheel geopende sluis bij eb – vloedkentering moet worden gesloten. De frequentie waarmee de stormvloeddeuren moeten worden gesloten kan, afhankelijk van de kerende hoogte van de vloeddeuren, nog veel lager zijn.

De kans dat de sluiting van vloed- en/of stormvloeddeuren mislukt zal afhankelijk van de op dat moment vervulde functie verschillen. Denk daarbij alleen al aan het feit dat gedurende het schutten er geen sprake is van een stroming door de sluis heen, terwijl dat in geval van spuien wel

het geval is. Als er een beperking is aan de toelaatbare stroomsnelheid waarbij de deuren nog veilig gesloten kunnen worden, dan kan dit van grote invloed zijn op de kans dat de sluiting tijdens de vervulling van de spui functie mislukt.

De inventarisatie van functies en gebruikstoestanden van waaruit het sluitproces kan falen ziet er voor dit voorbeeld als volgt uit:

- schutten/sluiten vloeddeuren i.v.m. eb – vloedkentering;
- schutten/sluiten stormvloeddeuren i.v.m. verwachte stormvloed;
- spuien/sluiten vloeddeuren i.v.m. eb – vloedkentering.

Merk op dat in dit voorbeeld alleen het falen van het sluitproces is beschouwd. Het falen van de gesloten afsluitmiddelen als gevolg van bijvoorbeeld een aanvaring is niet beschouwd. Dit houdt in dat de kans hierop moet worden meegenomen in de controle op het voldoen aan de eis gesteld aan sterkte en stabiliteit van het kunstwerk.

stap 2. Bepaal per functie het OKP

Uitgangspunt van de beoordeling is volgens B3.1 het toelaatbaar instroomvolume V_{toel} . Op basis hiervan moet de vereiste sluitfrequentie $n_j = N(V_{\text{open}} > V_{\text{toel}} \text{ bij geopende kering})$ [vragen/jaar] worden vastgesteld. Bij een gegeven kering en hoogwaterverloop kan het toelaatbaar volume worden omgerekend tot een toelaatbaar debiet of een toelaatbaar buitenwaterpeil:

$$V_{\text{toel}} \Rightarrow q_{\text{toel}} \Rightarrow h_{\text{toel}}$$

Het buitenwaterpeil h_{toel} dat correspondeert met het toelaatbaar instroomvolume (bergend vermogen) wordt het open keerpeil (OKP) genoemd (zie ook B3.2 en Bijlage 1). De vereiste sluitfrequentie is daarmee teruggebracht tot de overschrijdingsfrequentie van een waterstand.

De meest eenvoudige wijze van bepalen van het OKP is deze gelijk te stellen aan de open keerhoogte OKH (de kerende hoogte van de drempel van het geopende kunstwerk zelf in geval van een hooggelegen drempel, of aan de kerende hoogte van de kaden van het achterliggende watersysteem in geval van een laaggelegen drempel). Deze hoogte dient vervolgens te worden verminderd met een eventuele veiligheidsmarge en de bijdragen van de effecten van de volgende mechanismen:

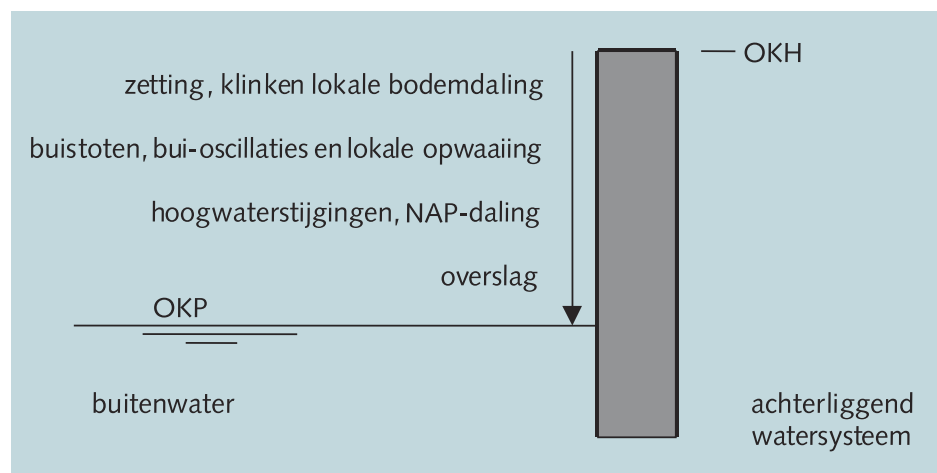
- daling van de open keerhoogte ten gevolge van zetting, klink en lokale bodemdaling in de planperiode;
- verhoging van de waterstanden ten gevolge van buistoten, buioscilla-

- ties en lokale opwaaiing;
- verhoging van de waterstanden ten gevolge van hoogwaterstijging, inclusief NAP-daling, in de planperiode;
- golfoverslag.

Voor toelichting van de hier genoemde begrippen wordt verwezen naar bijlage B2 'Kerende Hoogte'.

In figuur B3.4 is voor een hooggelegen drempel schematisch weergegeven hoe aldus vanuit de open keerhoogte van het kunstwerk (OKH) het open keerpeil van het kunstwerk (OKP) kan worden bepaald.

Figuur B3.4
Eenvoudige bepaling
OKP vanuit OKH



Deze benadering gaat er dus van uit, dat op het moment dat de buitenwaterstand de open keerhoogte overschrijdt, de bergingscapaciteit van het achterliggende systeem direct wordt overschreden als het kunstwerk dan nog altijd geopend is.

In veel gevallen zal deze benadering veel te conservatief zijn. De doorstroomde opening van een geopend kunstwerk heeft immers beperkte afmetingen, waardoor het instromende debiet sterk wordt beperkt. Afhankelijk van het bergend vermogen van het achterliggende systeem kan derhalve een buitenwaterstand boven de open keerhoogte best toelaatbaar zijn, mits het kunstwerk en het achterliggende systeem voor wat betreft sterkte en stabiliteit (bodembescherming!) zijn ontworpen op de belasting van het daarbij behorende instromende debiet. Door hiervan gebruik te maken kan in veel gevallen nog een aanzienlijke ruimte worden gevonden in de analyse van de kans op waterbezwaar ten gevolge van niet sluiten. Het OKP kan immers worden verhoogd met een zekere overloophoogte.

Aan het gebruik van OKP als eenduidig begrip, waarin een zekere toelaatbare overloophoogte is opgenomen, liggen de volgende twee belangrijke uitgangspunten ten grondslag die de analyse sterk vereenvoudigen:

- herstel na het aanvankelijk falen van de sluitingsoperatie is niet meer mogelijk. Daarmee wordt verondersteld dat gedurende de gehele hoogwatergolf buitenwater het achterliggend gebied instroomt, tot het moment dat de buitenwaterstand weer lager wordt dan de hoogte van het geopende kunstwerk of lager wordt dan de binnenwaterstand;
- het verloop van een hoogwatergolf in de tijd heeft een vaste vorm welke eenduidig is gekoppeld aan de hoogst optredende waterstand tijdens die hoogwatergolf.

De wijze van bepaling van OKP, op basis van berekeningen van het instromend debiet bij een gegeven hoogwatergolf, kan per kunstwerk verschillen. Te onderscheiden zijn:

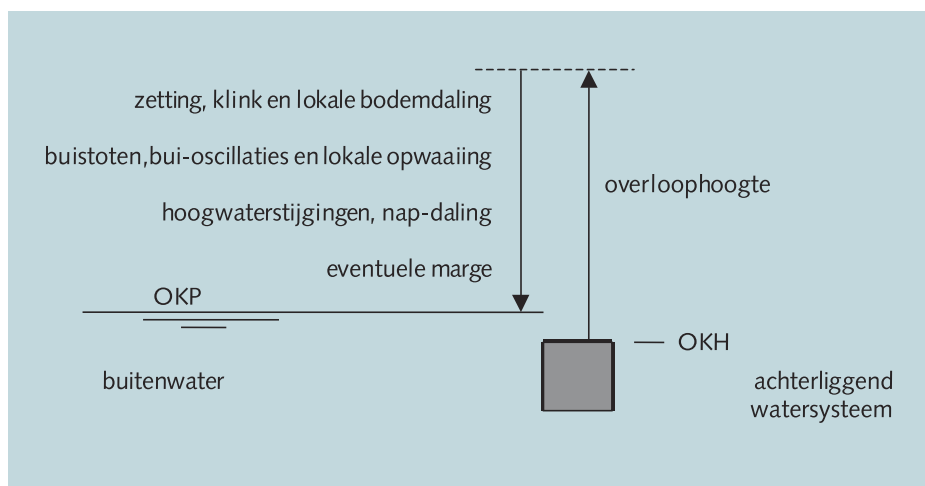
- overslag of overloop over een 'hooggelegen' drempel (bijvoorbeeld over het niet hoogwaterkerende deurstel van een schutsluis, of over een coupure);
- instromend water over een 'laaggelegen' drempel (bijvoorbeeld over de drempel van een keersluis, spuisluis, inlaatsluis of stormvloedkering);
- instromend water door buis of koker (bijvoorbeeld door een tunnel, een gemaal, een pijpleiding of een duiker).

Voor de berekening van het debiet over een hooggelegen drempel wordt verwezen naar bijlage B2 'Kerende hoogte'. Voor de berekening van het debiet over een laaggelegen drempel of door een buis of koker wordt verwezen naar de vakliteratuur op het gebied van hydraulica.

In figuur B3.5 is voor een hooggelegen drempel schematisch weergegeven hoe vanuit de open keerhoogte van het kunstwerk (OKH) het open keerpeil van het kunstwerk (OKP) kan worden bepaald waarin een zekere overloophoogte is meegenomen.

Aanbevolen wordt om, conform de benadering in bijlage B2 (kerende hoogte), in het geval geen overloop toelaatbaar is, voor de som van de bijdragen van overslaghoogte en buistoten, buioscillaties en lokale opwaaiing een ondergrens van 30 cm aan te houden (minimale waakhogte). In geval overloop wel toelaatbaar is wordt aanbevolen om, eveneens conform bijlage B2, een aparte veiligheidsmarge van 30 cm in rekening te brengen.

Figuur B3.5
Bepaling OKP vanuit
OKH met toelaatbare
overloophoogte

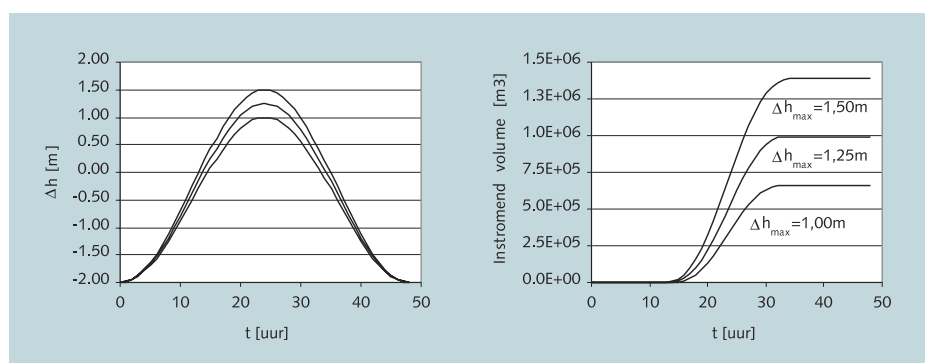


Voorbeeld

In figuur B3.6 zijn ter illustratie in de linker grafiek drie verlooplijnen van een hoogwatergolf gegeven. In de rechter grafiek is het bij deze verlooplijnen berekende instromend volume over een hooggelegen drempel weergegeven. De berekening van het bij deze verlooplijnen optredende instromend volume buitenwater is na de figuur toegelicht, evenals het op basis daarvan vast te stellen OKP.

Uitgegaan is van een schutsluis in het getijdegebied, met een stel vloeddeuren en een stel ebdeuren in beide hoofden. De vloeddeuren in de beide hoofden, waarvan er altijd minimaal een stel gesloten behoort te zijn, hebben een gelijke kerende hoogte. Voor het keren van extreem hoge buitenwaterstanden is het buitenhoofd voorzien van een apart stel stormvloeddeuren, welke tijdens het schutbedrijf niet worden gebruikt. De open keerhoogte van deze schutsluis tijdens het schutbedrijf is daarmee gelijk aan de hoogte van de vloeddeuren.

Figuur B3.6
Voorbeeld hoogwater-
standverloop en daarbij
berekend instromend
volume



De in figuur B3.6 weergegeven waterstandverlooptlijnen betreffen het verloop van de waterstand ten opzichte van de open keerhoogte. De breedte van het doorstroomde profiel van de sluis bedraagt 9 meter. Uitgaande van de weergegeven waterstandverlooptlijnen is het instromend volume berekend met de formule voor een volkomen overlaat:

$$Q = 1,9 \times B \times \Delta h^{3/2} \quad (B3.2)$$

met: Q = instromend debiet [m^3/s]
 B = breedte van het doorstroomde profiel [m]
 Δh = niveau buitenwaterstand ten opzichte van de open keerhoogte (open keerhoogte = kerende hoogte van het geopende kunstwerk) [m]

Stel dat in de voorbeeldsituatie sprake is van een kombergend oppervlak van $2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ en dat de maximale peilverhoging op het binnenwater die nog net niet tot problemen leidt 0,5 meter bedraagt, dan bedraagt het maximaal toelaatbaar instromend volume $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Uit de figuur kan worden afgelezen dat dit volume nog juist niet wordt overschreden indien de stormvloeddeuren van het kunstwerk niet zijn gesloten, en er een hoogwatergolf passeert die de open keerhoogte met maximaal 1,25 m overschrijdt. Het open keerpeil of OKP voor dit kunstwerk ligt derhalve op 1,25 m boven de open keerhoogte. Hoogwatergolven met een maximale waterstand die dit peil overschrijden leiden, indien het kunstwerk niet is gesloten, tot een waterbezwaar in het achterliggend gebied.

Merk op dat de effecten van zetting en lokale bodemdaling in de planperiode, verhoging van de waterstanden ten gevolge van buistoten, buioscillaties en lokale opwaaiing; en verhoging van de waterstanden ten gevolge van hoogwaterstijging, inclusief NAP-daling in dit voorbeeld voor het gemak zijn verwaarloosd. Daarnaast is ook het effect van eventueel optredende golfoverslag verwaarloosd. Voor uitdrukkingen voor de berekening van het debiet in geval er sprake is van overslag, of overloop in combinatie met overslag, wordt verwezen naar bijlage B2 'Kerende hoogte'.

Indien het voorbeeld zou worden uitgewerkt voor een laaggelegen drempeel, waarbij het binnenwater onder normale omstandigheden in directe verbinding staat met het buitenwater, ligt het niet meer voor de hand de berekening van het OKP te laten verlopen via een expliciete berekening van het maximaal te bergen volume. De binnenwaterstand reageert dan immers continu op de variatie van de buitenwaterstand. Een praktische aanpak is in dat geval de respons van de binnenwaterstand op het ver-

loop van hoge buitenwaterstanden te berekenen, en deze direct te controleren op de nog net toelaatbare binnenwaterstand.

stap 3. Bepaal per functie de overschrijdingsfrequentie van het OKP

Het gemiddeld aantal keer per jaar dat een kunstwerk vanwege een dreigend hoogwater echt moet worden gesloten, omdat anders een waterbezwaar in het achterliggend gebied zou ontstaan, is gelijk aan de overschrijdingsfrequentie van het OKP. De overschrijdingsfrequentie van OKP wordt ook wel de 'vereiste sluitfrequentie' genoemd. De vereiste sluitfrequentie wordt genoteerd als n_j . Er geldt derhalve:

$$n_j = N(h_{bu} > OKP) \quad (B3.3)$$

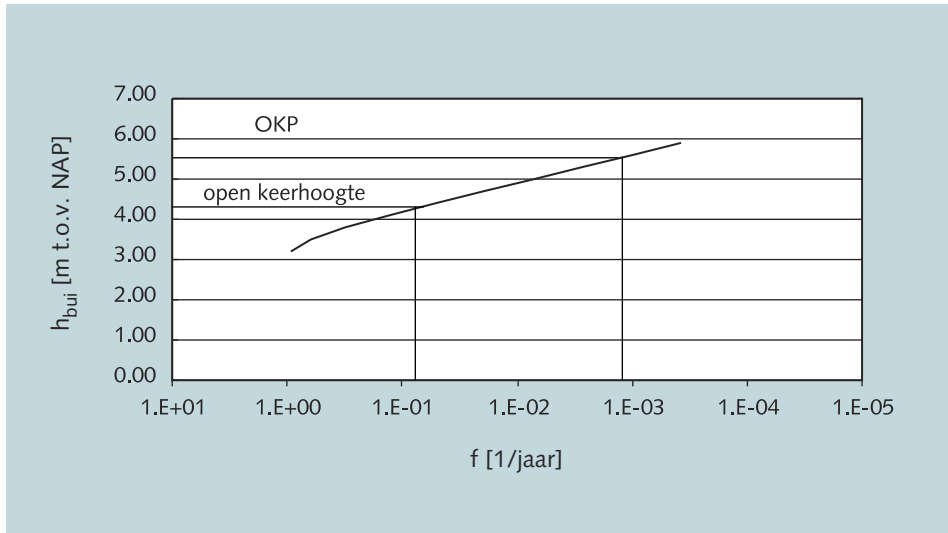
met: n_j = vereiste sluitfrequentie [vragen/jaar]

$N(h_{bu} > OKP)$ = gemiddeld aantal keer per jaar dat een hoogwatergolf passeert met een maximale buitenwaterstand hoger dan OKP (resultierend in een sluitvraag bij open kunstwerk) [vragen/jaar]

h_{bu} = maximale buitenwaterstand tijdens een hoogwatergolf [m t.o.v. referentie]

De overschrijdingsfrequentie van buitenwaterstanden op een zekere locatie wordt weergegeven door middel van een overschrijdingsfrequentielijn. Ter illustratie is, aansluitend op het voorbeeld uit de vorige stap, in figuur B3.7 een overschrijdingsfrequentielijn weergegeven.

In de figuur is af te lezen dat de open keerhoogte ligt op een niveau van NAP +4,25m. De overschrijdingsfrequentielijn laat zien dat dit peil met een gemiddelde kans per jaar van ca. $9 \cdot 10^{-2}$ wordt overschreden. Het OKP ligt 1,25 m hoger en ligt derhalve op een niveau van NAP + 5,50 m. Dit peil wordt met een gemiddelde kans per jaar van $1,4 \cdot 10^{-3}$ overschreden. Daarmee geldt voor het voorbeeld dat $n_j = 1,4 \cdot 10^{-3}$ per jaar.



*Figuur B3.7
Overschrijdingsfrequent
ielijn van hoge buiten-
waterstanden*

In voorgaande is overigens steeds uitgegaan van kunstwerken die in beginsel open staan en bij hoogwater moeten worden gesloten. De kans dat het kunstwerk bij een dreigende overschrijding van het OKP aanvankelijk geopend is, is daarmee bij benadering gelijk aan 1,0. Er zijn daarnaast echter ook kunstwerken te onderscheiden die in beginsel gesloten zijn en op aanvraag worden geopend (schutsluizen met spuifunctie, spuisluisen en inlaatsluizen) en kunstwerken die alleen in geval van calamiteit moeten worden gesloten (pijpleidingen en tunnels), zie tabel B3.1.

In geval van kunstwerken die in beginsel gesloten zijn en op aanvraag worden geopend, zal bij dreigende overschrijding van het OKP een sluiting alleen nodig zijn, indien het kunstwerk op dat moment geopend is. Dit houdt in dat voor deze kunstwerken in de bepaling van n_j een reductie voor deze kans op open zijn kan worden meegenomen. Een globale wijze van berekening van deze reductie is in onderstaande twee voorbeelden beschreven.

Voorbeeld 1: bepaling van n_j voor de spuifunctie van een schutsluis in het getijdengebied

Stel dat een schutsluis in het getijdengebied gemiddeld 10 keer per jaar bij laag water geheel wordt geopend om overtollig binnenwater af te voeren. Stel voorts dat de buitenwaterstand die bij geheel geopende sluis aan de binnenzijde tot een probleem zou leiden jaarlijks gemiddeld 30 keer wordt overschreden. Uitgaande van jaarlijks 705 getijdencycli en daarmee hoge buitenwaters kan dan de vereiste sluitfrequentie worden berekend als:

$$n_j = N(h_{bu} > OKP) \cdot P(\text{sluis open}) = 30 \times 10/705 = 0,43 \text{ [vragen/jaar]}$$

Voorbeeld 2: bepaling van n_j voor een spuisluis in het rivierengebied

Stel dat een spuisluis in het rivierengebied gemiddeld 50 dagen van de 365 dagen per jaar bij een lage rivierstand geheel of gedeeltelijk is geopend om overtollig binnenwater af te voeren. Stel voorts dat de hoogwatergolf op de rivier die bij geheel geopende sluis aan de binnenzijde tot een probleem zou leiden met een gemiddelde kans van eens per 2 jaar wordt overschreden, dan kan een zeer globale veilige schatting van de vereiste sluitfrequentie worden berekend als:

$$n_j = N(h_{bu} > OKP) \cdot P(\text{sluis open}) = 0,5 \times 20/365 = 0,068 \text{ [vragen/jaar]}$$

Met name bij de kunstwerken die moeten worden gesloten in geval van een calamiteit, zoals bijvoorbeeld een lekkende tunnel zonder kanteldijken, kan het zijn dat er ongeacht de aanwezige buitenwaterstand altijd te veel buitenwater naar binnen stroomt als het kunstwerk niet wordt gesloten. In dat geval is de overschrijdingsfrequentie van het OKP gelijk aan de kans op optreden van die calamiteit. Omdat bovendien de afsluitmiddelen in dit soort kunstwerken er juist op ontworpen zijn om in stroming te sluiten, is in die gevallen het uitgangspunt dat na overschrijding van het OKP de sluiting niet meer mogelijk is veel te conservatief en dus niet meer bruikbaar. Een veilige schatting van de kans op waterbezwaar is in dat geval te berekenen als het product van de kans op calamiteiten en de kans dat de gewenste sluiting direct daarop mislukt. De inschatting van de kans op het falen van de sluiting is behandeld in de hierna volgende paragraaf.

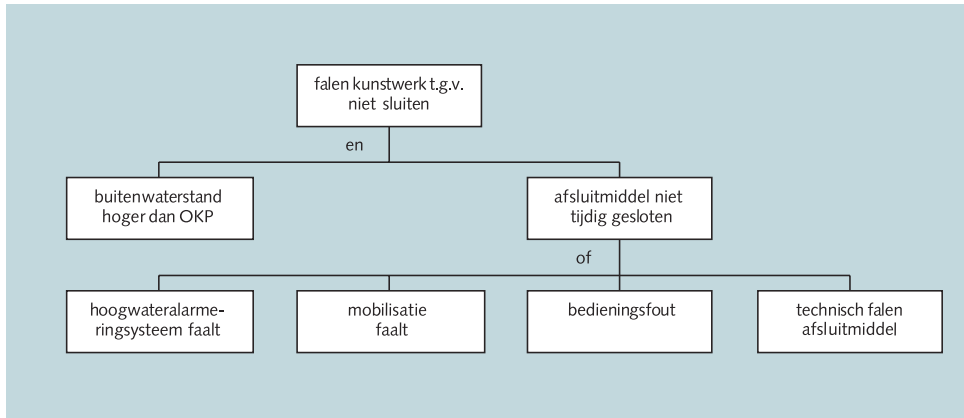
stap 4. Bepaal per functie de kans op niet sluiten

Het waterkerende kunstwerk faalt indien de buitenwaterstand hoger is dan OKP en het kunstwerk niet gesloten is. In figuur B3.8 is de foutenboom voor falen van het kunstwerk ten gevolge van niet sluiten nader uitgewerkt. In formulevorm kan de kans op falen ten gevolge van niet sluiten als volgt worden beschreven (zie formule B3.1):

$$P_{fa} = n_j P_{ns}$$

met: P_{fa} = faalkans van het kunstwerk ten gevolge van een falend afsluitmiddel [1/jaar]

P_{ns} = faalkans van de sluiting van het kunstwerk bij overschrijding van het OKP [1/vraag]



Figuur B3.8
Foutenboom voor niet sluiten

De bepaling van de vereiste sluitfrequentie (η_i) is besproken in de vorige paragrafen.

De kans op niet sluiten (P_{ns}) volgt uit een analyse van vier subsystemen onder de gebeurtenis 'afsluitmiddel niet tijdig gesloten':

- hoogwater waarschuwingssysteem: falen waterstandregistratie, falen alarm, etc;
- mobilisatie: bedienend personeel niet tijdig op de beweegbare kering aanwezig;
- bedieningsfout: verkeerde handeling of nalaten handeling;
- technisch falen afsluitmiddelen: bewegingswerk faalt, niet-beschikbaarheid t.g.v. aanvaring, obstakels, etc.

Voor elk van de vier subsystemen wordt in deze paragraaf een standaardfoutenboom opgesteld. Aan elk van de vier foutenbomen wordt vervolgens een vragenlijst gekoppeld. Via beantwoording van de vragen en het bijhouden van een daarmee samenhangende score, wordt een maat voor de betrouwbaarheid van dat onderdeel van de sluitprocedure voor de kering verkregen. Op basis van de vier eindscores E_i wordt de kans geschat dat het afsluitmiddel niet gesloten is als dat nodig is. Deze kansschatting wordt gegeven door:

$$P_{ns} = 10^{-E} \quad (B3.4)$$

met: P_{ns} = kans op niet sluiten, gegeven noodzaak
 E = de laagste waarde van E_i ($i=1$ tot en met 4)
 E_i = eindscore volgend uit de beantwoording van de vragenlijst voor subsysteem i

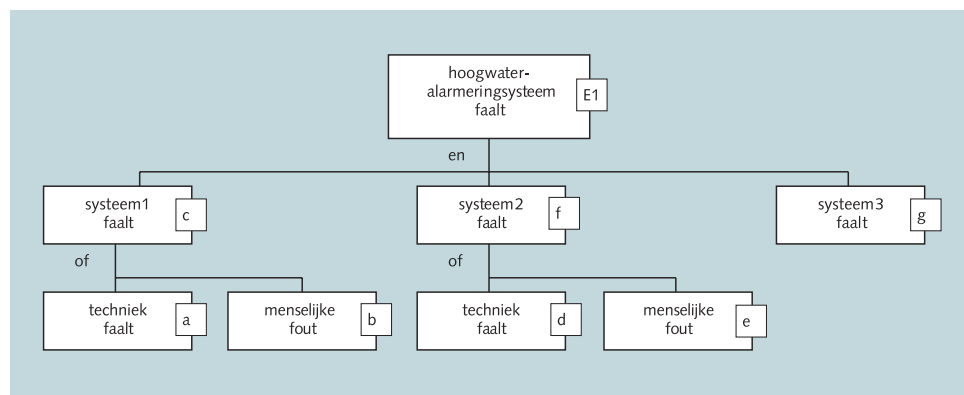
Opmerking:

In beginsel komt de score gedurende de gehele beoordelingsprocedure steeds in grote lijnen en voor zover mogelijk overeen met de negatieve logaritme van de overeenkomstige faalkans. Een *EN*-poort in de foutenboom correspondeert bij onafhankelijke gebeurtenissen derhalve met een optelling in de scoretabel (bijvoorbeeld $c = a + b$). In het geval van een *OF*-poort wordt de kleinste van de deelscores genomen (bijvoorbeeld $c = \min(a,b)$). Dit is weliswaar een benadering aan de niet-conservatieve kant, maar voor de grote lijn is dit geen bezwaar.

Hoogwateralarmeringssysteem

De alarmering is de eerste fase in de totale sluitingsoperatie. Het doel van deze fase is het geven van het startsein voor de mobilisatiefase waarin alles voor de feitelijke sluiting in gereedheid wordt gebracht. In figuur B3.9 is de tak 'hoogwateralarmeringssysteem faalt' uit figuur B3.8 nader uitgewerkt. Op basis van deze foutenboom is de scoretabel volgens tabel B3.2 opgesteld.

Figuur B3.9
Uitwerking tak 'hoogwateralarmeringssysteem faalt'



stap	vraag	score
a1	is het primaire alarmsysteem gebaseerd op: -een af te lezen peilstok? -een automatische niveaumeting? -een automatische niveaumeting met minimaal een controle per maand? -een voorspelling ?	ja: a = 1 ja: a = 2 ja: a = 3 ja: a = 1
a2	gebeurt de registratie/voorspelling gewoonlijk minimaal tweemaal per dag bij een getijregime of eenmaal per dag bij een rivierregime?	ja: a = a + 1
a3	is er een controle of back up registratiesysteem?	ja: a = a + 1
b1	moeten in geval van hoogwater via menselijke handelingen andere personen worden gewaarschuwd? indien antwoord 'nee', ga door met c	nee: b = 5 ja : b = 2
b2	is er een schriftelijke procedure voor meting en waarschuwing?	ja: b = b + 1
b3	wordt deze procedure minstens eenmaal per jaar uitgevoerd of geoefend?	ja: b = b + 1
b4	is er een terugmeldingsprocedure? (n = aantal schakels in de waarschuwingsketen)	ja : b = b - n/2 nee: b = b - n
c	tussenscore	c = min(a,b)
d1-d3	alle vragen a voor een eventueel tweede systeem	d
e1-e4	alle vragen b voor een eventueel tweede systeem	e
f	tussenscore als er geen tweede systeem is	f = min(d,e) - 1 f = 0
g	kan in geval van falend alarm de bevolking op tijd waarschuwen?	ja : g = 1 mog: g = 0,5 nee: g = 0
h	eindscore falen hoogwateralarmeringssysteem (HAS)	E1 = c + f + g

Tabel B3.2
Scoretabel falen hoogwateralarmeringssysteem

Toelichting op tabel B3.2

Vraag a1

Het hoogwateralarmeringssysteem (HAS) valt globaal uiteen in een 'meting' en een 'waarschuwing'. De vragen a1- a3 hebben betrekking op de meting. Dit meet- of voorspelgedeelte kan gebaseerd zijn op:

- een meting van de actuele overschrijding van het signaleringspeil via visuele (peilschaal) waarnemingen (bijvoorbeeld het aflezen van een peilstok);
- een meting van actuele overschrijdingen van het signaleringspeil via een zelfregistrerend systeem indien standaard MSW wordt gebruikt, wordt dat ook tot deze categorie gerekend;

- idem, met minimaal eenmaal per maand controle op correcte werking;
- een voorspelling van overschrijding van een vooraf vastgesteld signaleringspeil, meestal via een telefonisch waarschuwingssysteem, zoals bijvoorbeeld RIZA of SVSD.

Welk type aanwezig is, bepaalt het antwoord bij vraag a1.

Vraag a2

Hier wordt ingegaan op de vraag of er een zekere routine is in het aflezen van de waterstanden. Als dit het geval is wordt de waarde van a (zoals volgend uit vraag a1) met 1 verhoogd. Indien dit ter plaatse niet dagelijks gebeurt, maar in bijzondere gevallen de betrokken functionaris wordt gewaarschuwd door andere waarnemers die wel dagelijks waarnemen (RIZA, MSW), dan kan dit als voldoende worden beschouwd. Wel dienen de tussenschakels dan bij vraag b2 te worden meegenomen.

Vraag a3

Het is ook mogelijk dat er twee systemen actief zijn, al dan niet van verschillend type. Het meest betrouwbare systeem dient dan als 'primaire' systeem te worden gezien en het andere als de back-up of controle-systeem, waarnaar in a3 wordt gevraagd. Als dit het geval is wordt a met 1 opgehoogd.

Vragen b1-b3

Er is sprake van een waarschuwingssysteem als de waarnemer van de voor verdere handelingen bepalende waterstand niet zelf verantwoordelijk is voor de mobilisatie, maar andere personen daarvoor moet waarschuwen. Dit bepaalt het antwoord op vraag b1. Als dit niet het geval is, wordt b = 5 en kan worden doorgegaan met vraag c. Als het wel het geval is, dan is het van belang of de te volgen procedure op schrift is vastgelegd, inclusief de mogelijke alternatieve acties voor het geval bepaalde personen niet bereikbaar of verhinderd zijn (vragen b2 en b3). Op grond van de antwoorden wordt de score van b aangepast.

Vraag b4

De score bij vraag b4 hangt samen met de lengte van de waarschuwingssysteem. Algemeen geldt: hoe meer schakels, hoe groter de kans dat er ergens iets mis gaat. Indien er sprake is van een enkele andere persoon die gewaarschuwd moet worden, geldt $n = 1$, bij 2 andere personen $n = 2$, enz. Het gaat dus om personen of instanties en niet om (onderdelen) van systemen. Let op dat bij vraag b4 ook de schakels moeten worden meegenomen van een algemene waarschuwingssysteem die een waarnemer van een lokale waterstand moet waarschuwen (zie toelichting bij

vraag a5). De reductie in de score is verder afhankelijk gemaakt van het al dan niet bestaan van een terugmeldingssysteem: indien terugmelding van iedere actie geregeld is, is de reductie in de betrouwbaarheidsscore geringer. De terugmelding moet plaats vinden na het uitvoeren van de gewenste actie.

Vraag d/e/f

Indien er een volledig en vrijwel onafhankelijk reservesysteem bestaat voor het gehele signalerings- en waarschuwingssysteem, kan dat bij de vragen d, e en f worden geëvalueerd en bij g worden meegenomen in de totale beoordeling. Als er geen tweede systeem is geldt $f = 0$.

Vraag g

Het is in principe mogelijk dat bij een falend alarmeringssysteem de bevolking alarm slaat. Meestal zal dit pas gebeuren als het water in de buurt komt van het faalpeil bij geopende kering, of dit al heeft overschreden. Het is dus een grote vraag of na een dergelijk alarm nog tot een succesvolle sluiting kan worden overgegaan. Beantwoording van deze vraag vereist een goede kennis van de plaatselijke omstandigheden en zal onvermijdelijk subjectief zijn. In de scoretabel staat 'mog' voor 'mogelijk'.

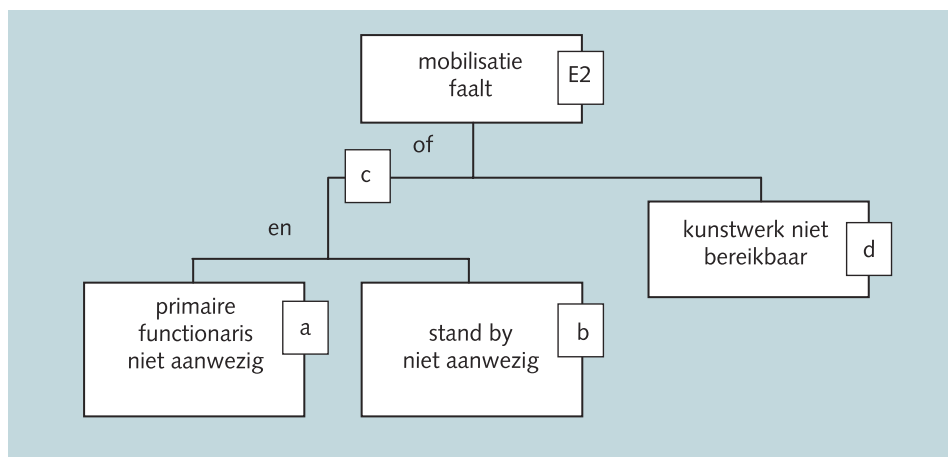
Mobilisatie

Bij een voorspelde dan wel een actuele overschrijding van het signaleringspeil wordt het bedienend en beslissingsbevoegd personeel gewaarschuwd. Bij een actuele waterstandoverschrijding van het sluitpeil wordt de kering gesloten.

De tijd tussen de overschrijding van het signaleringspeil en overschrijding van het sluitpeil dient voldoende groot te zijn. De tijd tussen de overschrijding van het sluitpeil en overschrijding van de drempelhoogte dient voldoende groot te zijn om de kering te kunnen sluiten. In sommige gevallen dient de kering zelfs al eerder gesloten te zijn om overmatige golfoverslag tijdens het sluiten te voorkomen. Merk op dat in het kust- en benedenrivierengebied rekening moet worden gehouden met een significant grotere stijgsnelheid van het buitenwater dan in het bovenrivierengebied.

Het doel van de mobilisatiefase is derhalve ervoor te zorgen dat de functionaris of de groep van functionarissen die de feitelijke sluiting moet voltrekken tijdig aanwezig is op de plaats waar de werkzaamheden verricht moeten worden indien het sluitingspeil wordt overschreden. De foutenboom voor deze fase is weergegeven in figuur B3.10. In tabel B3.3 is de op deze foutenboom gebaseerde scoretabel weergegeven.

Figuur B3.10
Uitwerking tak 'mobilisatie faalt'



Tabel B3.3
Scoretabel falen mobilisatie

stap nr.	vraag	score
a1	is een volledige bemanning permanent aanwezig? (indien ja, sla a2/a3/a4/a5 over)	nee: a = 1 ja : a = 4
a2	is er een schriftelijk vastgelegde up-to-date mobilisatieregeling?	ja: a = a + 0,5
a3	is er een voorwaarschuwingssysteem?	ja: a = a + 0,5
a4	is er een terugmeldingssysteem voor mobilisatie?	ja: a = a + 0,5
a5	wordt de mobilisatie minstens eenmaal per jaar uitgevoerd of geoefend?	ja: a = a + 0,5
b1	bevat het mobilisatieplan een schriftelijk vastgelegde stand-by regeling? is er een voorwaarschuwingssysteem voor de stand-by?	ja : b = 1 nee: b = 0
b2	tussenscore	ja: b = b + 0,5
c	is er een volledige bemanning permanent aanwezig?	c = a + b
d1	indien ja, ga naar e is het kunstwerk onder alle omstandigheden bereikbaar?	ja : d = 4 nee: d = 1
d2	eindscore falen mobilisatie (MOB)	meestal d = d + 1 vrijwel d = d + 2 altijd d = d + 3
e		E2 = min(c,d)

Toelichting op tabel B3.3

Vraag a1

De permanente (dag en nacht) aanwezigheid van een volledige bemanning is alleen te verwachten bij de grotere kunstwerken of bij volledig automatische systemen waar geen mensen nodig zijn. In de meeste

gevallen zullen een of meerdere personen dienen te worden opgeroepen om naar de betreffende kering toe te gaan. Indien het antwoord ja is volgt $a = 4$ en kunnen de vragen a2-a5 worden overgeslagen. Als het antwoord nee is volgt $a = 1$; deze score kan bij positief antwoord op de vragen a2-a5 verder worden verhoogd.

Vraag a2

Een mobilisatieregeling dient op schrift vast te liggen, volledige en up-to-date te zijn en bij alle betrokkenen bekend te zijn.

Vraag a3

Een voorwaarschuwingssysteem houdt in dat op basis van een verwachting minstens 12 uur voor de overschrijding van het alarmpeil alle te mobiliseren werknemers en het stand-by personeel worden gewaarschuwd dat hoogwater op komst is.

Vraag a4

Bedoeld wordt de terugmelding naar de alarmeringspost.

Vraag a5

Geen toelichting.

Vragen b1/b2

Gevraagd wordt of de mobilisatieregeling een volledige beschrijving geeft van personen die bij verhindering van de primair aangewezen functionarissen de taken kunnen overnemen en of voor deze stand-by personen een voorwaarschuwingssysteem bestaat.

Vraag d1

Dit is dezelfde vraag als bij a1; indien ja, dan kan vraag d2 worden overgeslagen.

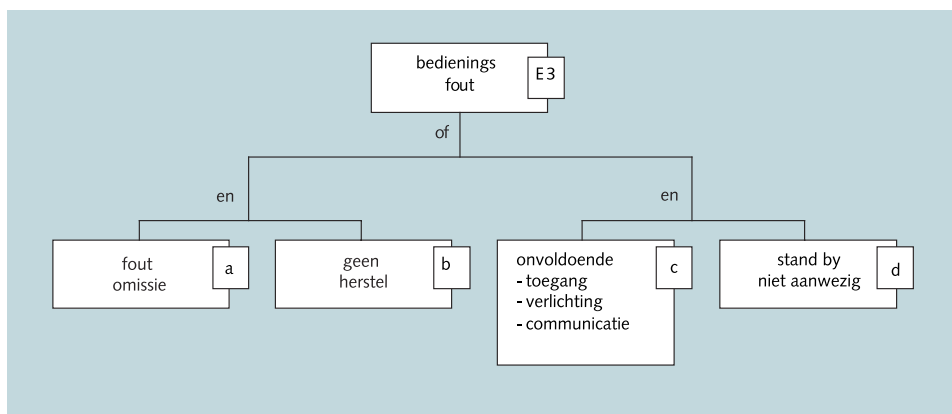
Vraag d2

De bereikbaarheid van een kunstwerk hangt af van de plaats en de kwaliteit van de toevoerwegen. Indien het kunstwerk alleen via onverharde wegen bereikbaar is, of via een dijk die mogelijk onderhevig is aan golf-overslag, kan niet altijd op volledige bereikbaarheid worden gerekend. Beantwoording van de vraag vereist kennis van de locale omstandigheden en procedures.

Bedieningsprocedure voor de sluiting

De derde fase van de sluitingsoperatie is de sluiting zelf, gegeven dat de waarschuwing van 'overschrijden' signaleringspeil is gegeven en de mobilisatie is geslaagd. In deze fase zijn er twee hoofdfaalmogelijkheden: technisch falen en menselijk falen. In figuur B3.11 is de tak 'bedieningsprocedure voor de sluiting faalt' uit figuur B3.8 nader uitgewerkt. Figuur B3.11 heeft dus betrekking op het menselijke faalaspect. De op basis van figuur B3.11 opgestelde scoretabel is weergegeven in tabel B3.4.

Figuur B3.11
Uitwerking tak 'bedieningsprocedure voor de sluiting faalt'



stap nr.	vraag	score
a1	De bediening is (1) volledig automatisch (2) niet automatisch, sluitprocedure aanwezig (3) niet automatisch, geen sluitprocedure aanwezig Bij (1) kan in principe worden doorgegaan naar e, met E3=4 Bij (3) zijn de vragen a2-a4 niet relevant	a = 4 a = 2 a = 1
a2	Bevat de sluitingsprocedure een terugmeldingsplicht?	ja: a = a + 0,5
a3	Is de procedure bekend bij alle bij de sluiting betrokken personen?	ja: a = a + 0,5
a4	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar uitgevoerd of geoefend?	ja: a = a + 0,5
b	Zijn er bij bedieningsfouten mogelijkheden tot herstel?	ja : b = 1 mog: b = 0,5 nee: b = 0
c1	Zijn alle ruimten en toegangen verlicht en wordt dit minstens tweemaal per jaar gecontroleerd?	ja : c = 1 nee: c = 0
c2	Wordt minstens eenmaal per jaar gecontroleerd of iedereen beschikt over de benodigde sleutels voor toegang of bediening?	ja: c = c + 1
c3	Zijn er communicatiemiddelen (portofoons) of zijn deze niet nodig?	ja: c = c + 0,5
d	Is er bij problemen genoemd bij c een realistische mogelijkheid tot herstel?	ja : d = 1 mog: d = 0,5
e	Eindscore bedieningsfout (BED)	nee: d = 0 E3 = min(a + b, c + d)

Tabel B3.4
Scoretabel
Bedieningsfout

Toelichting op tabel B3.4

Vragen a1-a4

Deze vragen zijn overeenkomstig die bij de mobilisatie.

Vraag b

In sommige gevallen kunnen gemaakte bedieningsfouten gemakkelijk worden opgemerkt en kan de betreffende functionaris de gemaakte bedieningsfout vervolgens herstellen. Het gaat hier dus om zaken als het indrukken van de verkeerde knop, het vergeten van een handeling, het omdraaien van de juiste volgorde, enz. De beoordeling van deze vraag hangt sterk af van de lokale omstandigheden en zal meestal een subjectief karakter dragen. In de scoretabel staat 'mog' voor 'mogelijk'.

Vragen c1-c3

Onverwacht uitvallen van de verlichting, het niet in bezit hebben van de juiste sleutels of onvoldoende communicatie zijn uitermate praktische problemen die vaak voorkomen en tot de vertraging van de mobilisatie kunnen leiden. De genoemde controles hebben tot doel de kansen op deze gebeurtenissen te verkleinen.

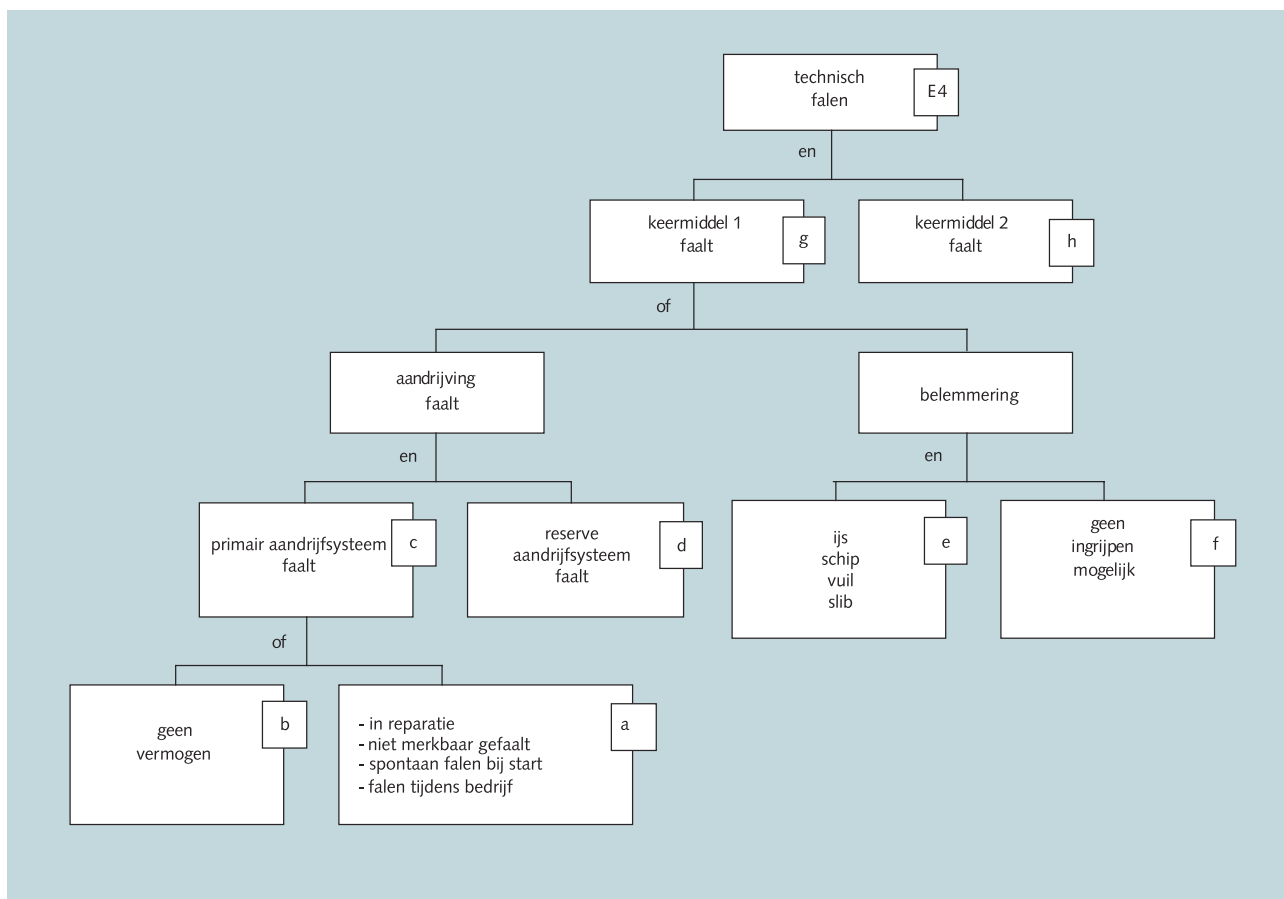
Vraag d

Ook de beantwoording van deze vraag vereist net als vraag b grondige kennis van de situatie en procedure voor het betreffende kunstwerk.

Bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen

In figuur B3.12 is de tak 'bedrijfszekerheid afsluitmiddelen onvoldoende' uit figuur B3.8 nader uitgewerkt. De op basis van figuur B3.12 opgestelde scoretabel is weergegeven in tabel B3.5.

Figuur B3.12
Uitwerking tak
'technisch falen'



stap nr.	vraag	score
a1	is het primaire keermiddel een permanent middel (dus geen schotbalken, zandzakken of dergelijke)?	ja: $a = 2$ nee: $a = 1$
a2	wordt het primaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en minstens eenmaal per jaar volledig getest?	ja: $a = a + 1$
a3	is er aanvarings- of aanrijdingsrisico van betekenis?	ja: $a = a - 1$
b	Is de aandrijving van het keermiddel -electrisch via het GEB, met noodaggregaat? -electrisch via het GEB, zonder noodaggregaat? -via handkracht? -via een diesel- of benzinemotor?	$b = 4$ $b = 3$ $b = 3$ $b = 2$
c	tussenscore	$c = \min(a, b)$
d	is er een volledig en onafhankelijk reserve-aandrijvingssysteem?	ja: $d = 1$ nee: $d = 0$
e	zijn er meer dan normale belemmeringen te verwachten?	ja: $e = 1$ nee: $e = 2$
f	is ingrijpen mogelijk bij fysieke belemmering?	ja: $f = 0,5$ nee: $f = 0$
g	tussenscore	$g = \min(c + d, e + f)$
h	is er een tweede keermiddel? indien ja: beantwoordt vragen a, b, c, e voor het tweede keermiddel	nee: $h = 0$ $h = \min(c, e) - 1$
i	Eindscore falen als gevolg van technische storing (STO)	$E4 = g + h$

Tabel B3.5
Scoretabel falen als
gevolg van technische
storing

Toelichting op tabel B3.5

Vraag a3

Er is sprake van een aanrijdingsrisico van betekenis indien het te sluiten keermiddel zonder bescherming op een afstand van minder dan 5 m van een rijbaan ligt. Er is sprake van een aanvaarrisico van betekenis indien het middel zonder enige bescherming in de vaargeul of maximaal 10 m daarbuiten, tenzij het scheepvaartverkeer minimaal is.

Vragen b1-b4

Veel kleine keermiddelen zijn handbediend, hetgeen, afgezien van blokkeringen of belemmeringen, als een uitermate betrouwbare krachtbron wordt gezien. De score voor aandrijvingen op basis van een benzine of dieselmotor gelden als iets minder betrouwbaar.

Voor de energielevering via het GEB geldt een faalkans van 0,4 per jaar met een gemiddelde storingsduur van 1 uur. De kans dat op een wille-

keurig tijdstip geen energie kan worden aangeleverd, ligt zodoende in de orde van 10^{-4} . De score $b = 3$ is derhalve conservatief. Via een noodagregaat kan de score tot $b = 4$ worden verhoogd.

Vragen e/f

Voorbeelden van een belemmering zijn: een geparkeerde auto, het vastlopen van een deur in zand of wegdek, ijsgang, schepen in de deuropening, voorwerpen op de bodem. Ingrijpen wordt bijvoorbeeld geacht relatief goed mogelijk te zijn bij een sluiting van een coupure in een bebouwde omgeving bij voldoende tijd. Verder verwijderd van de bewoonde centra kan het al lastiger worden. Obstakels in den natte vergen weer meer tijd en voorzieningen, zeker naarmate de schaal van het keermiddel toeneemt. De score is hier afhankelijk van een goede kennis van de plaatselijke omstandigheden en heeft altijd een subjectief karakter.

Vraag h

Een tweede keermiddel kan zijn een tweede deur of een schotbalkkering, maar bijvoorbeeld ook zandzakken indien deze in voldoende mate en op gecontroleerde wijze aanwezig zijn. Het voldoen van de zandzakken dient op overtuigende wijze te zijn aangetoond. Verder moet het tweede keermiddel altijd in voldoende mate onafhankelijk zijn en zal dus een voldoende grote onderlinge afstand moeten hebben en/of gebaseerd zijn op een ander principe.

Kwantitatieve beschouwing scoretabellen

Bij de voorgestelde score-toekenningen ligt de volgens de voorgestelde methode maximaal toe te kennen betrouwbaarheid vast. Immers, per tabel gelden de volgende maximale scores:

- falen hoogwater-alarmeringsysteem (HAS): $E_1 \leq 10$
- falen van de mobilisatie (MOB): $E_2 \leq 4$
- het maken van een bedieningsfout (BED): $E_3 \leq 4$
- falen door een technische storing (STO): $E_4 \leq 4$

De maximaal toe te kennen betrouwbaarheid is hiermee $P_{ns} = 10^{-4}$ kans/vraag.

Deze maximale betrouwbaarheid is overigens uitsluitend haalbaar bij toepassing van een dubbel keermiddel. Bij een enkel keermiddel wordt $E_4 \leq 2,5$ zodat de maximaal toe te kennen betrouwbaarheid afneemt tot $P_{ns} = 3 \cdot 10^{-3}$ kans/vraag.

Het gebruik van de aan de hand van voorgaande procedure te schatten faalkans van de sluiting P_{ns} . In de controle van een kunstwerk op voorwaarde 1b (toelaatbare kans per jaar op overschrijding van het toelaatbaar instromend volume door het geopende kunstwerk) is in het volgende voorbeeld toegelicht.

Voorbeeld

Een keersluis bevindt zich in een primaire waterkering waarvoor een normfrequentie geldt van $f_{norm} = 1/2.000$. De sluis moet passage van scheepvaartverkeer mogelijk maken, en wordt uitsluitend gesloten in geval van dreigend hoog buitenwater.

De eis die wordt gesteld aan de kans op waterbezwaar binnen het dijk-ringgebied, ten gevolge van een te groot instromend volume buitenwater door de geopende keersluis luidt:

$$P\{V_{geopend} > V_{toelaatbaar}\} = n_j \cdot P_{ns} < 0,1 \times \text{norm} = 0,1 \times 1/2.000 = 5 \cdot 10^{-5}.$$

In geval van een dubbel keermiddel wordt een kans op niet sluiten berekend van $P_{ns} = 10^{-4}$. Daarmee volgt direct dat de vereiste sluitfrequentie n_j kleiner dient te zijn dan 0,5 maal per jaar. Ofwel, indien het open keerpeil een overschrijdingsfrequentie heeft groter dan 0,5 per jaar is een dubbel keermiddel volgens de standaard beoordelingsmethode niet voldoende betrouwbaar. Aanbevolen wordt om in dat geval het open keerpeil te verhogen of een uitgebreider analyse te (laten) maken.

Voor een enkel keermiddel wordt een kans op niet sluiten berekend van $P_{ns} = 3 \cdot 10^{-3}$. Daarmee volgt dat de vereiste sluitfrequentie n_j kleiner dient te zijn dan $6 \cdot 10^{-2}$ maal per jaar. In het laatste geval moet de overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil dus veel lager zijn dan in het eerste geval (het open keerpeil moet dus hoger zijn).

Stap 5: Vergelijking met de norm

In het geval van een enkele functie moet voldaan worden aan (zie B3.1):

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

Hierbij volgt P_{ns} (kans op niet sluiten) uit stap 4 en n_j (vereiste sluitfrequentie) uit stap 3. De norm volgt voor de betreffende dijkkring uit de Wet op de waterkering.

Indien verschillende functies worden onderscheiden moet $P_{ns} n_j$ worden bepaald voor elke functie. De som van de bijdragen uit de verschillende functies moet dan kleiner zijn dan een tiende maal de normfrequentie. Daarbij moet rekening worden gehouden met mogelijke correlaties tussen de functie, de gebeurtenis niet-sluiten en het open keerpeil. De grootte van de verschillende bijdragen wordt aan de ene kant bepaald door de intensiteit waarmee een functie wordt vervuld en het waterkerende vermogen van het geopende kunstwerk, ofwel het OKP, gegeven de vervulling van die functie, en aan de andere kant door de kans op falen van de sluiting gegeven de vervulling van die functie.

Ter illustratie hiervan kan dienen de schutsluis in het getijdengebied die stormvloed moet keren met een apart stel stormvloeddeuren, en die een paar keer per jaar geheel wordt geopend om overtollig binnenwater af te voeren. De totale faalkans ten gevolge van niet-sluiten bestaat dan voor een deel uit een bijdrage vanuit de schutfunctie (de frequentie van voorkomen van een stormvloed die niet met de 'normale' keermiddelen gekeerd kan worden $n_{j, \text{schutten}}$ vermenigvuldigd met de kans op niet-sluiten van de stormvloeddeuren $P_{ns, \text{schutten}}$), en voor een deel uit een bijdrage vanuit de spuifunctie (de frequentie waarmee de sluis geheel wordt geopend en in die situatie de buitenwaterstand stijgt tot het kritieke peil $n_{j, \text{spuien}}$ vermenigvuldigd met de kans op niet-sluiten van tenminste een stel keermiddelen $P_{ns, \text{spuien}}$).

Slotopmerkingen van B3.4

De betrouwbaarheid van de sluiting van een beweegbare kering wordt enerzijds bepaald door de overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil bij geopend kunstwerk, en anderzijds door de betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie.

Bij de vaststelling van het open keerpeil kan, afhankelijk van onder meer het bergend vermogen van het achterliggend gebied, mogelijk een groot overloopdebiet worden geaccepteerd, mits uiteraard de standzekerheid van de waterkering niet in gevaar komt. Uit overwegingen van een gewenste zekere robuustheid van het ontwerp, of uit psychologische overwegingen, is het echter in de regel niet verstandig om bij de bepaling van het toelaatbaar overloop debiet tot het uiterste te gaan.

Als praktische methode voor de bepaling van de betrouwbaarheid van de sluitingsoperatie zijn vier scoretabellen opgesteld (één voor elk faalmechanisme te weten: falen hoogwateralarmeringssysteem, falen mobilisatie, bedieningsfout en falen door een technische storing). Hieruit kan op

een relatief eenvoudige en uniforme wijze een oordeel worden gevormd over de betrouwbaarheid van de sluiting van een beweegbare kering. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat er aanwijzingen zijn dat de 'huidige' inschattingen van de betrouwbaarheid van het reguliere sluitproces te optimistisch zijn voor wat betreft de bijdrage aan de kans op falen door menselijke handelingen. Aan de andere kant wordt het vermogen tot het improviserend handelen na aanvankelijk falen weer veelal verwaarloosd, terwijl dit juist weer een significante reductie van de kans op falen of de gevolgen daarvan kan opleveren. Hierop is nader ingegaan in de volgende paragraaf

De hier gepresenteerde methode is getoetst aan een aantal praktijksituaties. De methode kan in ieder geval gebruikt worden om verschillende ontwerpen met elkaar te vergelijken. Voor een definitieve beslissing wordt aanbevolen een uitgebreider analyse te laten maken.

Indien voorgaande methode niet tot bruikbare resultaten leidt, kan een preciezere beschouwing van een aantal aspecten mogelijk voldoende winst opleveren. Hiervoor wordt verwezen naar de geavanceerde methode die in de volgende paragraaf is beschreven. Indien ook dit nog geen voldoende resultaat oplevert kan altijd nog een 'echte' betrouwbaarheidsanalyse worden uitgevoerd. Door optimaal rekening te houden met locatiespecifieke omstandigheden, kan dit leiden tot een mogelijk aanzienlijk 'scherper' ontwerp. Aanbevolen wordt om bij de uitvoering van de betrouwbaarheidsanalyse wel zoveel mogelijk de systematiek van de hier gepresenteerde methode te volgen.

Mogelijkheden tot aanscherping

De hiervoor beschreven beoordelingsmethode beoogt een generieke methode te zijn die in beginsel voor alle typen waterkerende kunstwerken in alle omstandigheden kan worden gebruikt om een veilige inschatting te maken van de betrouwbaarheid van de sluiting. Het onvermijdelijke gevolg daarvan is dat de methode voor bepaalde gevallen een te pessimistische inschatting van de veiligheid oplevert. In die gevallen kan de gedetailleerde beoordelingsmethode worden gebruikt om op een aantal aspecten de voorgaande beoordeling aan te scherpen.

Een aanscherping kan met name worden gevonden op de volgende aspecten:

1. De gevolgen van falen van het gesloten afsluitmiddel worden expliciet beschouwd, waardoor hieraan een mogelijk een veel minder strenge eis kan worden gesteld.

2. De beoordeling van de toelaatbare kans op niet sluiten vindt plaats op het niveau van 'overstroming' in plaats van op het niveau van 'overbelasten'.
3. De kans dat na overschrijding van het OKP het kunstwerk alsnog tijdig improviserend kan worden gesloten wordt geschat en meegenomen in de beoordeling.

Genoemde aspecten zijn hierna puntsgewijs nader toegelicht.

1. Falen van het gesloten afsluitmiddel

Het constructief falen van het gesloten afsluitmiddel, bijvoorbeeld door een zware aanvaring, kan leiden tot een plotseling optredend debiet, waarbij er relatief weinig tijd is om het probleem improviserend op te lossen. Om die reden moet de kans op falen van het gesloten afsluitmiddel in beginsel voldoen aan de eis die is gesteld aan de kans op constructief bezwijken van het kunstwerk (zie bijlage B1), en dus kleiner zijn dan 0,01 maal de normfrequentie.

Als echter kan worden aangetoond dat de sterkte en stabiliteit van het kunstwerk ook in de situatie van een plotseling falend afsluitmiddel voldoende is gewaarborgd (d.w.z. de gecombineerde kans op constructief falen van het gesloten afsluitmiddel én het vervolgens constructief falen van het kunstwerk in zijn geheel voldoet minimaal aan genoemde eis van 0,01 maal de normfrequentie), dan mag de toelaatbare kans op constructief falen van het gesloten afsluitmiddel worden afgeleid van de eis aan de toelaatbare kans op waterbezwaar ten gevolge van niet sluiten.

Hiermee kan de toelaatbare kans op falen van het gesloten afsluitmiddel van 0,01 maal de norm mogelijk aanzienlijk worden verlicht. Dit kan veel opleveren, denk met name aan aanvaringen. In het uiterst denkbare geval is bij niet al te extreme omstandigheden de bergingscapaciteit altijd voldoende, waarmee de uit oogpunt van veiligheid toelaatbare kans op falen van het gesloten afsluitmiddel orden groter kan zijn.

De extra ruimte wordt echter niet cadeau gegeven. Nu moeten immers wel de gevolgen van falen van het gesloten afsluitmiddel kwantitatief worden bepaald. Daarbij moet niet alleen worden gekeken naar de kans op overschrijding van de bergingscapaciteit, maar moet ook worden gecontroleerd op de gevolgen van een plotseling optredend debiet en de daarmee samenhangende stromingen en (translatie)golven.

Een goede inventarisatie van functies en gebruikstoestanden is uiteraard ook voor de beschouwing van de kans op falen van het gesloten afsluit-

middel van belang. Denk bijvoorbeeld aan het geval dat het falen van de gesloten deuren van een schutsluis pas tot een waterbezwaar kan leiden bij een buitenwaterstand hoger dan het maximum schutpeil. In dat geval kan de bijdrage van aanvaringen van het gesloten keermiddel aan de kans op waterbezwaar in veel gevallen worden verwaarloosd.

2. Toelaatbare kans op niet sluiten afleiden van de toelaatbare overstromingskans

De toelaatbare kans op constructief bezwijken van het kunstwerk is met 0,01 maal de norm een orde strenger dan de toelaatbare kans van 0,1 maal de norm op waterbezwaar ten gevolge van niet sluiten. Dit verschil in eisen hangt samen met het verschil in veronderstelde gevolgen (overstroming versus overbelasting van het binnenwatersysteem), en het daarmee samenhangende gemak waarmee op het voldoen aan de eisen kan worden gecontroleerd.

Indien er vanuit mag worden gegaan dat constructief falen van het kunstwerk leidt tot een overstroming van achterliggend gebied, dan kan er voor worden gekozen de toelaatbare kans op falen van de afsluitmiddelen af te leiden van de toelaatbare kans op een hiermee vergelijkbaar gevolg. Indien de overgangskans tussen 'waterbezwaar' en 'overstromen' voldoende klein is (i.c. kleiner dan 0,1), dan leidt deze benadering tot een verlichting van de eis aan de betrouwbaarheid van de afsluitmiddelen.

De mogelijke aanscherping van de controle op niet-sluiten gaat ook in dit geval gepaard met een noodzakelijk dieper gravende analyse. De gevolgen van een zekere mate van overschrijding van het toelaatbaar instromende volume moeten nu immers expliciet in beeld worden gebracht.

3. Kans op herstel na falen

Uitgangspunt van de gedetailleerde methode is dat het alsnog sluiten van een geopend kunstwerk na de overschrijding van het OKP niet meer lukt. Afhankelijk van ondermeer de bergingscapaciteit van het achterliggend systeem, zal er echter na het aanvankelijk falen van het sluitingproces ook na overschrijding van het OKP nog een zekere tijd beschikbaar zijn tot het moment dat het te maximaal te bergen volume wordt overschreden. In die periode zal normaliter, ook buiten de van tevoren vastgelegde procedures om, van alles worden geprobeerd om het kunstwerk alsnog gesloten te krijgen. Het in rekening brengen van de kans dat dit niet tijdig lukt levert een extra reductie op van de kans op waterbezwaar ten gevolge van niet sluiten. Als deze kans wordt genoteerd als $P_{f, \text{herstel}}$, dan bedraagt de werkelijke kans op waterbezwaar ten gevolge van falende sluiting:

$$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toelaatbaar}}\} = n_j \cdot P_{\text{ns}} \cdot P_{f, \text{herstel}} \quad (\text{B3.5})$$

De waarde van deze reductiefactor $P_{f, \text{herstel}}$ zal afhankelijk van de specifieke situatie sterk verschillen. Een algemeen toepasbare methode om hier een schatting van te maken bestaat er (nog) niet. Belangrijke factoren zullen in ieder geval zijn de nog beschikbare tijd om wat te doen, alsmede de mate waarin afsluitmiddelen op het sluiten in stroming bij groter verval dan bij OKP zijn ontworpen.

B3.5 Geavanceerde methode: Betrouwbaarheids-/risicoanalyse

B3.5.1 De basiseis

Op het hoogste niveau wordt de veiligheid van de kering beoordeeld met een volledige betrouwbaarheidsanalyse. Aangetoond moet worden dat (zie B3.1.1):

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

Deze eis kan worden geschreven als:

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

met: P_{ns} = kans op onbedoeld niet sluiten, gegeven noodzaak [faalkans/vraag]
 n_j = het aantal keren per jaar dat de kering moet worden gesloten [vragen/jaar]

Het aantal keren per jaar dat de kering moet worden gesloten kan zowel worden uitgedrukt in het instroomvolume als in het buitenwaterpeil:

$$n_j = N(V_{\text{open}} > V_{\text{toel}}) = N\{h_{\text{bu}} > \text{OKP}\} [\text{vragen/jaar}] \quad (\text{B3.6})$$

Het open keerpeil is de waterstand op de rivier die correspondeert met het aanvaardbaar geachte instromend volume door geopende kering.

De bepaling van de vereiste sluitfrequentie n_j is bij de geavanceerde benadering in deze bijlage niet anders dan bij de benadering in B3.4. Wat wel anders is, is de berekening van de kans op niet sluiten P_{ns} . Deze kans in de geavanceerde benadering wordt bepaald met behulp van een betrouwbaarheidstheorie. De verdere paragrafen van deze bijlage geven daarover gedetailleerde informatie.

Opmerkingen:

1. Omdat formeel de eisen met betrekking tot 'niet sluiten' alleen van toepassing zijn op die omstandigheden waarbij de kering anders niet zou falen kan (B3.6) nog worden verfijnd tot:

$$n_j = N\{OKP < h_{bu} < h_{dk}\} \text{ [vragen/jaar]} \quad (B3.7)$$

met: h_{dk} = kerende hoogte bij gesloten afsluitmiddel of
dijktafelhoogte t.o.v. NAP [m]

Meestal heeft dat echter weinig praktische betekenis.

2. De eis van '0,1 x norm' wordt ingegeven door de gedachte dat de faalkansruimte voor de sluitingsoperatie groter mag zijn dan die voor sterkte en stabiliteit. Een en ander heeft te maken met de grotere moeilijkheidsgraad om een sluitingsoperatie met hoge betrouwbaarheid te realiseren en ook met de mogelijk minder ernstige gevolgen bij falen. Als alternatief kan men ook de volgende eis overwegen:

$$P_{ns} N(h_{bu} > OKP) < 0,01 \times \text{norm} / n \quad (B3.8)$$

n = aantal kunstwerken in de ring

In deze beschouwing is het instroomvolume zodanig dat er een daadwerkelijke overstroming optreedt die nog juist acceptabel wordt geacht. Hierbij wordt men wel geacht rekening te houden met het effect van gelijktijdige instroom door verschillende falende kunstwerken. Deze risicobenadering staat dus een hoger debiet toe, maar eist een lagere faalkans. In sommige gevallen kan dit voordeel bieden. Indicaties over welke overstroming nog juist acceptabel is worden in deze leidraad niet gegeven.

B3.5.2 Betrouwbaarheidsanalyse/algemeen

In de betrouwbaarheidsanalyse van technisch/menselijk falen van een bewegingswerk worden twee grootheden gebruikt om het falen van een component te beschrijven, namelijk faalkans per tijd (faalfrequentie) en de kans op niet beschikbaarheid.

De faalkans per tijd (faalfrequentie) wordt aangegeven met:

$$\lambda \text{ [1/tijdseenheid]}$$

Van een faalfrequentie is altijd sprake bij een component met een continue functie. Voorbeelden zijn: Niet blijven draaien van een motor; lek of breuk van een drukvat; dichtstaande schakelaar opent spontaan. Heeft de

betreffende component een constante faalfrequentie dan geldt dat de kans dat de component in het interval $[0...t]$ faalt, gelijk is aan:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (B3.9)$$

De functie $F(t)$ wordt ook de niet-betrouwbaarheid op tijdstip t genoemd. Door deze functie in een reeks te ontwikkelen kan worden aangetoond dat voor $\lambda t < 0,1$ met voldoende benadering geldt:

$$F(t) = \lambda t \quad (B3.10)$$

De faalkans neemt dus voor kleine perioden lineair met de tijd toe.

De kans op niet-beschikbaarheid van een component bij een vraag om functioneren kan het gevolg zijn van spontaan falen, van niet-merkbaar gefaald zijn in de voorafgaande periode, van testen of van reparatie tijdens de vraag. In formulevorm:

$$U = Q + U_{nmf} + U_{test} + U_{rep} \quad (B3.11)$$

met: U = totale kans op niet-beschikbaarheid
 Q = kans op spontaan falen per vraag
 U_{nmf} = kans op niet-beschikbaarheid door niet-merkbaar falen
 U_{test} = kans op niet-beschikbaarheid door testen
 U_{rep} = kans op niet-beschikbaarheid door reparatie

Per term volgt een korte bespreking.

Spontaan falen

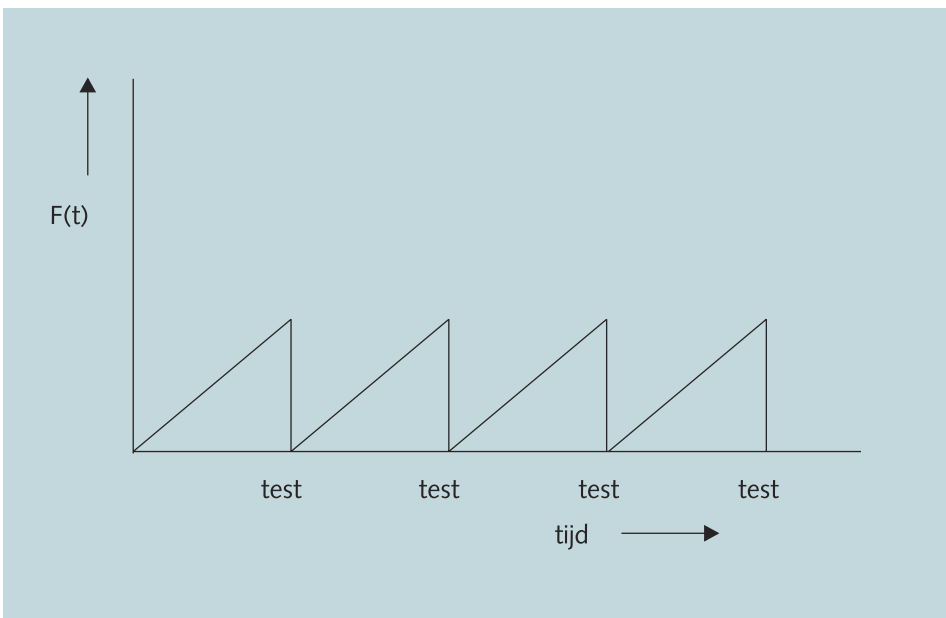
De faalkans per vraag heeft betrekking op een component die slechts één enkele momentane beweging uit moet voeren. Voorbeelden zijn: Een motor start; een afsluiter opent; een relais schakelt; een handeling wordt uitgevoerd. Per keer dat die momentane toestandsverandering gevraagd wordt is er een kans Q dat de toestandswijziging niet plaatsvindt.

Niet-merkbaar falen

Met name als systemen, zoals in de waterbouw, niet permanent hun functie hoeven te vervullen, kunnen deze tussen twee tijdstippen van de niet-gefaalde overgaan in de gefaalde toestand. Soms zal dat direct merkbaar zijn en soms niet. Indien de component niet wordt aangesproken gedurende een bepaalde periode of als er een andere component is die de taak overneemt, dan valt de gefaalde toestand niet op. Wil men deze

toestand toch op tijd ontdekken, dan zal men de component met enige regelmaat moeten inspecteren en/of testen.

Het effect van een test is in figuur B3.13 weergegeven. De kans dat tijdens een test een component in een gefaalde toestand wordt aangetroffen is volgens betrekking (B3.10) gelijk aan $F(T) = \lambda T$; T is in dit geval de lengte van het testinterval. Het zal duidelijk zijn dat men een reparatie uitvoert als de betreffende component bij een test gefaald blijkt te zijn.



*Figuur B3.13
Het gedrag van een component met een faalsnelheid bij regelmatig testen. $F(t)$ is de kans in een gefaalde toestand te zijn in een gegeven testinterval.*

In ieder tijdsinterval Δt heeft de niet-merkbaar falende component een even grote kans om te falen (nl. $\lambda \Delta t$) en dus kan dit falen zich net zo makkelijk aan het begin van het tijdsinterval voordoen als aan het eind. Gemiddeld zal het tijdstip van falen halverwege het testinterval zijn. Als dat falen niet zelfmeldend is (niet merkbaar falen), dan betekent dat, dat de gemiddelde niet-beschikbare periode gelijk is aan een half testinterval ($T/2$). De kans op niet-beschikbaarheid verloopt van 0 aan het begin tot λT aan het testinterval. Gemiddeld is de (kans op) niet-beschikbaarheid dan gelijk aan:

$$U_{nmf} = \frac{1}{2} \lambda T \quad (B3.12)$$

Testen

In de waterbouw kan men testen meestal zo inrichten dat testen worden uitgevoerd in niet-gevaarlijke perioden. Deze term blijft daarom verder buiten beschouwing.

Reparatie

De kans op niet-beschikbaarheid ten gevolge van reparatie (na merkbaar of niet merkbaar falen) wordt analoog aan de kans op niet-beschikbaarheid ten gevolge van niet merkbaar falen bepaald. Als de gemiddelde reparatieduur van die component gelijk is aan θ dan is de kans op niet-beschikbaarheid die door reparatie veroorzaakt wordt gelijk aan:

$$U_{\text{rep}} = \lambda\theta \quad (\text{B3.13})$$

Totale niet-beschikbaarheid

De totale niet-beschikbaarheid van een component die niet merkbaar faalt is derhalve gelijk aan:

$$U = Q + \frac{1}{2} \lambda T + \lambda\theta \quad (\text{B3.14})$$

Soortgelijke formules kunnen ook worden afgeleid voor samengestelde systemen (zie tabel B3.6).

B3.5.3 De gebeurtenis 'niet-sluiten'

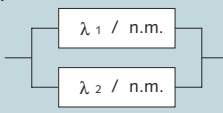
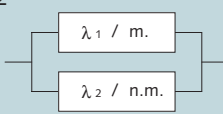
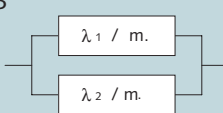
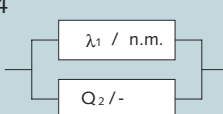
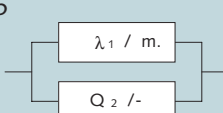
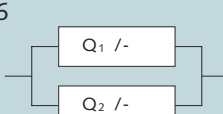
De kans op het niet tijdig sluiten van de afsluitmiddelen P_{ns} volgt uit een betrouwbaarheidsanalyse van:

- het hoogwaterwaarschuwingssysteem;
- de mobilisatie;
- de bedieningsprocedure voor de sluiting;
- de bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen.

In alle onderdelen van de sluitingsprocedure kan sprake zijn van menselijke fouten en technisch falen. Beide komen hierna afzonderlijk aan de orde.

Menselijk falen

Ten aanzien van menselijk handelen kunnen een tweetal aspecten worden onderscheiden. Het éne aspect betreft het verkeerd uitvoeren van een handeling of een reeks van handelingen, waardoor een procesgang wordt onderbroken of vertraagd. Het andere aspect betreft het tegenovergestelde; door geslaagde herstelacties kan een proces weer op gang worden gebracht of versneld.

Componenten	Niet beschikbaarheid	
	falen	reparatie
1 	$\frac{1}{3} \lambda_1 \lambda_2 T^2$	$\lambda_1 \lambda_2 \theta_1 T$
2 		$\frac{1}{2} \lambda_1 \lambda_2 \theta_1 T$
3 		$\lambda_1 \lambda_2 \theta_A (\theta_A + \theta_B)$ $\theta_A = \min(\theta_1, \theta_2)$ $\theta_B = \max(\theta_1, \theta_2)$
4 	$\frac{1}{2} \lambda_1 T Q_2$	$\lambda \theta_1 Q_2$
5 		$\lambda \theta_1 Q_2$
6 	$Q_1 Q_2$	$\frac{Q_1 Q_2 (\theta_1 + \theta_2)}{T}$

n.m.= Niet merkbaar falen

m. = Merkbaar falen

In het algemeen (zie figuur B3.14) zijn menselijke fouten te onderscheiden in verzuimfouten, keuzefouten, behandelingsfouten, volgordefouten en buitengewone acties. In het bijzonder betreft het fouten in menselijke voorspellingen, het uitblijven van beslissingen, het nemen van verkeerde beslissingen, het niet uitvoeren van beslissingen, en het fout uitvoeren van beslissingen.

Tabel B3.6

Formules voor het kwantificeren van de niet beschikbaarheid van redundante systemen (tweede orde minimale deelverzamelingen)

De kans op menselijke fouten is afhankelijk van:

- het bestaan van procedures en afspraken;
- de mens-machine relatie;
- het observeerbaar en regelbaar zijn van menselijke fouten;
- het trainen van menselijke handelingen;
- het controleren van menselijke handelingen door middel van technische systemen.

Voor getalwaarden: zie tabel B.3.11.

Technisch falen

Gesteld mag worden dat het technisch falen betrekking heeft op de mechanische, elektrische en elektronische systemen van een beweegbare kering. Er zijn in beginsel drie oorzaken te onderscheiden die tot technisch falen kunnen leiden. Dit zijn: het niet operationeel zijn, het falen bij de start en het falen tijdens het bedrijf van een systeem (zie figuur B3.15).

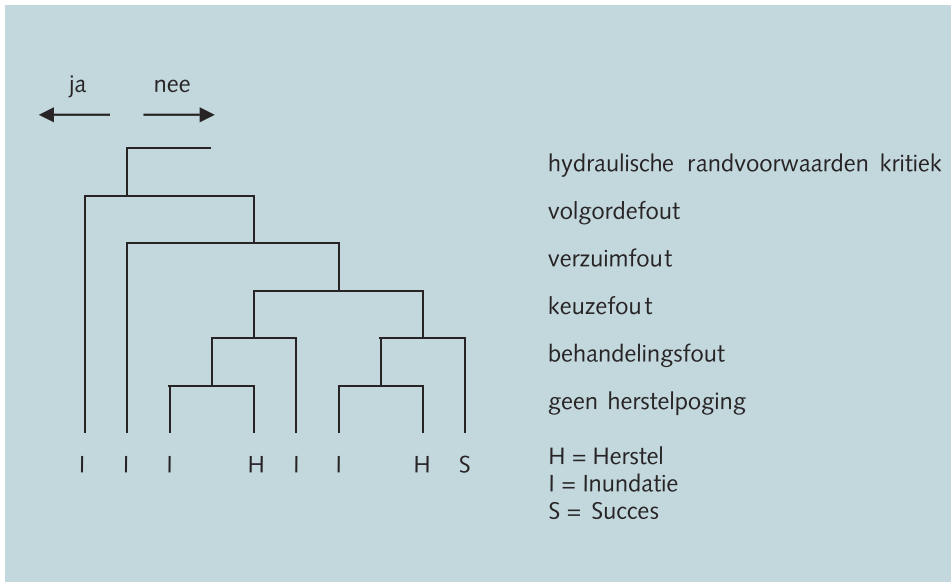
Niet operationeel zijn

Ten tijde dat de kering niet in gebruik is, kunnen er allerlei gebeurtenissen plaatsvinden waardoor de kering niet functioneert op het moment dat dit gewenst is. De gebeurtenissen betreffen onderhoudsactiviteiten aan de kering die, gepland (preventief) dan wel niet gepland (correctief), leiden tot het buiten bedrijf stellen van de kering.

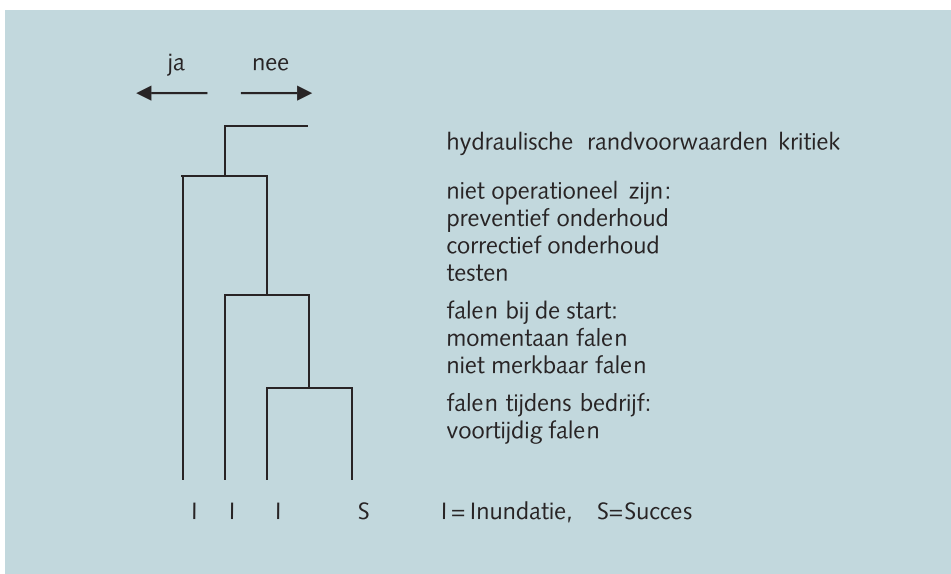
Uitgaande van het bestaan van een onderhoudsplan is het mogelijk te berekenen wat de voorziene (gemiddelde) niet-beschikbaarheid zal zijn van de kering ten gevolge van het geplande onderhoud. Moeilijker zal het zijn de onvoorziene niet-beschikbaarheid te bepalen. Met behulp van een storingsanalyse is het mogelijk de grootste mogelijke verzameling gebeurtenissen te genereren die kunnen leiden tot niet geplande onderhoudsactiviteiten. Daarna zal met een data-analyse eventueel in combinatie met foutenboomanalyses moeten worden geschat hoe vaak die gebeurtenissen zullen optreden en hoe lang de kering hierdoor buiten bedrijf zal blijven.

Het falen bij de start

Verondersteld wordt dat, bij een vraag om de kering te sluiten, de kering operationeel is. In dat geval bestaat er nog steeds de kans dat een systeem bij de start niet zal functioneren. Enerzijds kan dit het gevolg zijn van spontaan falen zoals het niet-starten van dieselgeneratoren en elektromotoren of het niet openen dan wel sluiten van relais of kleppen. Deze componenten hebben een faalkans per vraag en dragen afhankelijk van de configuratie direct dan wel indirect bij aan de totale faalkans van de



*Figuur B3.14
Standaardindeling van
de faalkansberekening
tengevolge van mense-
lijke fouten bij kritieke
hydraulische omstandig-
heden*



*Figuur B3.15
Standaardindeling van
de faalkansberekening
ten gevolge van tech-
nisch falen bij kritieke
hydraulische randvoor-
waarden.*

kering. Anderzijds kan dit het gevolg zijn van het feit dat componenten onopgemerkt in het ongerede zijn geraakt (niet-merkbaar falen). Deze componenten hebben een faalfrequentie en kunnen falen in de periode dat de kering in rust is, zonder dat men het weet. De grootte van de bijdrage van deze componenten aan de kans dat de kering niet sluit is afhankelijk van de lengte van de periode waarin die componenten gefaald kunnen zijn. Door middel van het uitvoeren van een test is de lengte van die periode te beïnvloeden, en daarmee de bijdrage aan de totale faalkans. Overigens kan het testen van componenten weer leiden tot het niet operationeel zijn van de kering, waardoor het van belang wordt het testinter-

val te minimaliseren. Met behulp van de systeembeschrijving en een data-analyse is uit te vinden welke componenten een faalkans per vraag hebben en welke componenten niet-merkbaar kunnen falen. Met behulp van een foutenboomanalyse is aan te geven welke invloed het falen van die componenten heeft op de faalkans van de kering.

Het falen tijdens bedrijf

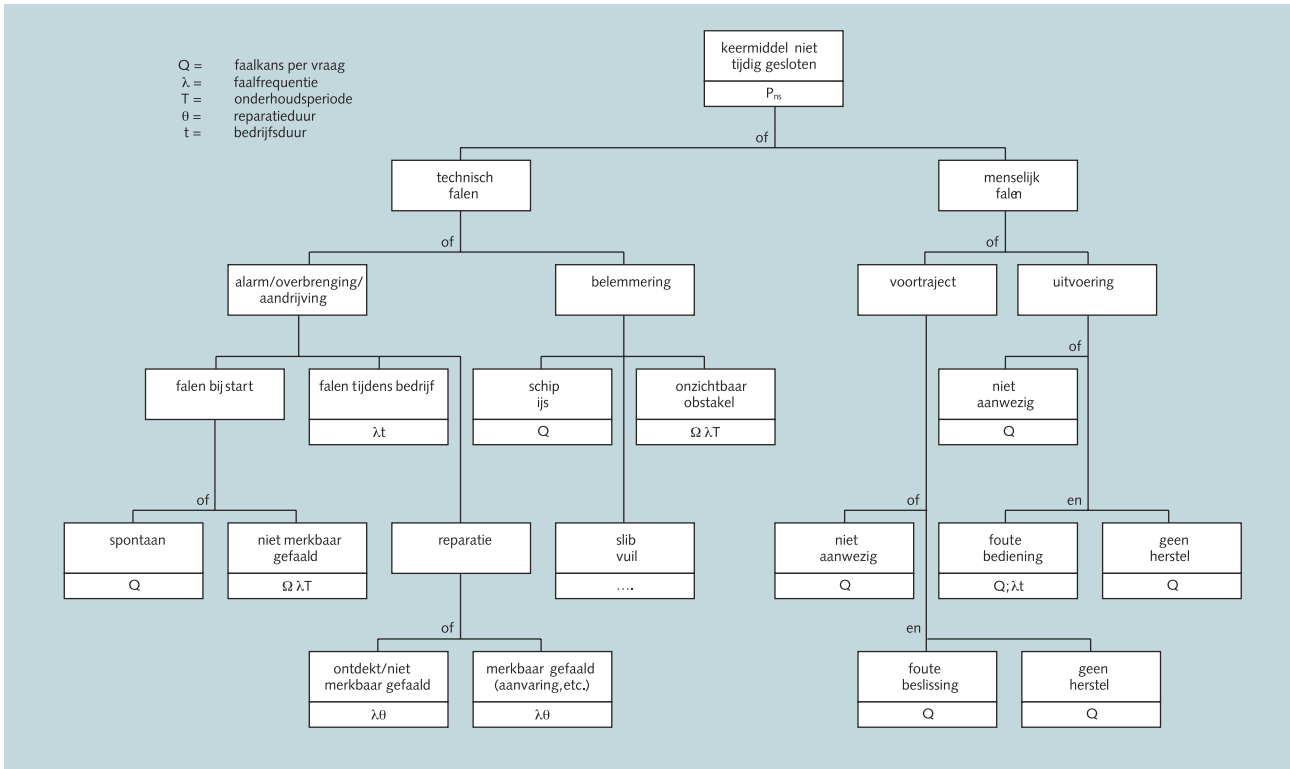
Verondersteld wordt dat, bij een vraag om de kering te sluiten, de kering operationeel is en ook in bedrijf komt (begint te sluiten). In dat geval bestaat er nog steeds de kans dat de kering niet zal sluiten. Het tijdens bedrijf falen van componenten, zoals het voortijdig stoppen van dieselgeneratoren en elektromotoren of het uitvallen van elektrische voedingen, hebben een faalfrequentie en dragen afhankelijk van de configuratie direct dan wel indirect bij aan de totale faalkans van de kering. Met behulp van de systeembeschrijving en een data-analyse is uit te vinden welke componenten een faalfrequentie hebben en hoe lang ze dienen te functioneren. Verder dient te worden onderzocht of er tijd is voor niet geplande reparaties tijdens de sluiting. Meestal is een storing in bijvoorbeeld de elektrische voeding vrij snel verholpen. Met behulp van een foutenboomanalyse is ook dan weer aan te geven welke invloed het falen van de componenten heeft op de faalkans van de kering.

B3.5.4 Foutenboom voor niet sluiten

In figuur B3.16 is het onderdeel van de foutenboom voor 'keermiddel niet tijdig gesloten' verder gedetailleerd. Uiteraard is dit een algemeen schema dat in een bijzonder geval nog verder uitgewerkt kan worden. Per basisgebeurtenis is aangegeven of deze van het λt , Q , $1/2\lambda t$ of $\lambda \theta$ - type is. Voor 'slib' en 'vuil' is geen formule ingevuld omdat dit cumulatieve processen zijn. Ook de boom voor menselijke fouten zal in een concreet geval verder gedetailleerd moeten worden door alle beslissings- en uitvoeringsacties te analyseren (zie figuur B3.14). Merk op dat 'per vraag' hier zowel betrekking kan hebben op de volledige sluitingsprocedure als op een individuele beslissing of handeling.

Aanvaring kan in het algemeen worden gemodelleerd als een vorm van merkbaar falen van onderdelen van de kering. De beweegbare delen als deuren en schuiven zijn in dit verband het meest kwetsbaar. Door ontzetting of beschadiging van wanden of hoofden kan echter ook een situatie optreden van niet-beschikbaarheid. In het geval van aanvaring wordt λ gegeven door:

$$\lambda = p N \quad (B3.15)$$



met p de kans op aanvaring per schip en N aantal schepen per tijdseenheid. Bij een kering die zich aan de zijkant van de waterweg bevindt kan p evenredig zijn met de blootgestelde lengte: $p = p' L$.

De reparatietijd θ kan van geval tot geval verschillen, afhankelijk van de massa m en aanvaarsnelheid v van het schip op het moment van aanvaring en de impact-bestendigheid van de kering. In wezen kunnen we dus alleen spreken over de verwachtingswaarde van de reparatietijd. Daarmee wordt de niet-beschikbaarheid door aanvaring:

$$U_{aanv} = p N E(q) \text{ of } U_{aanv} = p' L N E(q) \quad (B3.16)$$

Afhankelijk van het type kering kan het ook noodzakelijk zijn rekening te houden met aanvaring in kerende toestand.

B3.5.5 Numerieke gegevens

Voor het uitvoeren van een kwantitatieve analyse heeft men behoefte aan getalwaarden voor faalkansen, faalfrequenties, testperioden en reparatietijd. In de tabellen B3.7 tot en met B3.12 zijn faalkansen Q [1/vr] = [1/vraag] = en faalfrequenties λ [1/hr] = [1/uur] (of andere tijdseenheid) of [1/km] of andere lengte-eenheid, voor een aantal veel voorkomende gebeurtenissen gegeven. Reparatiетijden zijn niet opgenomen en zullen

*Figuur B3.16
Uitwerking foutenboom
voor gebeurtenis 'keer-
middel niet tijdig
gesloten'*

van geval tot geval geschat moeten worden.

In de tabellen worden de volgende rubrieken onderscheiden:

B3.7	Electrische/electronische componenten
B3.8	Electromechanische componenten
B3.9	Hydraulische, mechanische, pneumatische componenten
B3.10	Operationele belemmeringen
B3.11	Menselijk falen
B3.12	Enkele geïntegreerde systemen

De vermelde faalfrequenties hebben, tenzij anders aangegeven, betrekking op de toestand dat de component actief in werking is. Mocht bij een bepaalde component falen gedurende 'stand-by' van belang zijn, dan wordt aanbevolen hiervoor een faalfrequentie te nemen die een halve of hele orde lager ligt.

De meeste getalwaarden in de tabellen zijn afkomstig van zogenaamde generieke databanken, dat wil zeggen, de getalwaarden zijn gemiddelden van schattingen of observaties over verschillende merken, typen, toepassingsgebieden enz. Specifieke bedrijfsomstandigheden worden op die manier niet in rekening gebracht. De tabellen geven wel (5%-) onder- en (95%-) bovengrenzen. Deze grenzen gelden voor de gehele verzameling van de beschouwde componenten. Heeft men eenmaal een keuze voor een bepaald merk en type gemaakt dan zullen andere, meer specifieke, getallen gebruikt moeten worden. De getalwaarden zijn verder tijds-onafhankelijk, hetgeen betekent dat veroudering niet optreedt of via afdoende onderhoud wordt ondervangen. Voor opmerkingen en bronvermelding, zie de bladzijde na de tabellen.

In de tabellen is een kolom 'Lit' voor 'literatuur' opgenomen. De nummers in deze kolom verwijzen naar de hiernavolgende literatuurlijst. In de tabellen is ook een kolom 'opmerking' opgenomen. De daarin vermelde nummers verwijzen naar de legenda:

Legenda Opmerkingen:

1. Accubatterij staat stand-by.
2. Alleen de connector, niet de kabel. De ondergrens is berekend aan de hand van de gegeven bovengrenzen.
3. Op basis van 3 storingen in 9 jaar.
4. Op basis van 47 storingen in 6 jaar.
5. Op basis van 14 storingen.
6. Op basis van 10 storingen.

7. Op basis van 0 storingen en Bayesiaanse update.
8. Errorfactor = 10 op basis van engineering judgement.
9. KEMA onderzoek wees uit dat er een significant verschil bestaat in de niet-start kans van een dieselgenerator met en zonder repe-teerstart.
10. AC motoren.
11. Op basis van 3 storingen.
12. 12% van de faalmechanismen veroorzaakt blokkeren.
13. Errorfactor = 3 op basis van engineering judgement.
14. Aanvaring vindt plaats met gemiddelde snelheid $m(v) = 3 \text{ m/s}$ (geladen schepen) of $2,5 \text{ m/s}$ (ongeladen schepen) en standaardaf-wijking $s(v) = 0,5 \text{ m/s}$.

Literatuur faalgegevens:

- B.1 KEMA rapport 30117-MAP-21, 1992.
- B.2 NUREG/CR-2728 Interim Reliability Evaluation Program Procedures Guide, 1983.
- B.3 VDEN Openbare netten voor elektriciteitsdistributie, 1986.
- B.4 IEEE Std 500 Reliability data, 1984.
- B.5 EPRI AP-2071 Component failure and repair data for coal-fired power units, 1981.
- B.6 Egg-SSRE 8875 Generic component failure data base for light water and liquid sodium reactor PRA's, 1990.
- B.7 Allianz handbook of loss prevention, 1987.
- B.8 OREDA-84 Offshore Reliability Data Notebook, 1990.
- B.9 SAIC 877-03-02 Rev. 0 Generic Data Notebook, 1990.
- B.10 Green & Bourne Reliability Technology, 1972.
- B.11 ALWR Advanced light water reactor requirements document, 1988.
- B.12 KEMA rapport WSK/30118-4, 1985.
- B.13 Quality and Reliability Engineering International vol. 6, 1990.
- B.14 EIREDA European Industry Reliability Data Handbook, 1991.
- B.15 NUREG-75/014 (WASH 1400) An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants.
- B.16 Swain, A.D. & H.E. Guttman 1983 Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications.
- B.17 KEMA rapport 70219-MAP-8.
- B.18 Schoonhoven, 'Risico-analyse keersluis en coupures te Schoonhoven'; IBBC-TNO rapport B-90-334, mei 1990.
- B.19 Tolkamer, 'Beleidsanalyse Tolkamer', RWS, Dienst Weg- en Waterbouwkunde in samenwerking met ingenieursbureau Oranjewoud, april 1990.
- B.20 Nieuwe Waterweg, 'Faalkans-analyse van het voorontwerp van de

stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg; sectorkering van de bouwcombinatie Maeslantkering'; IBBC-TNO rapport B-87-627, september 1987.

- B.21 Aanvaarrisico's voor sluisdeuren, WL-rapport Q1399, maart 1992.
- B.22 Aansluiting van de Wet op de Waterkeringen op het Bouwbesluit; Fugro b.v. en Grondmechanica Delft; deel-rapportage Veilkunwat, januari 1994.
- B.23 Achtergrondstukken ten behoeve van de Leidraad Kunstwerken en Objecten in, op en nabij waterkeringen; TNO-BOUW, Witteveen en Bos, KEMA; december 1992

Tabel B3.7 Elektrische en elektronische componenten van beweegbare afsluitmiddelen

Component	Faalmanier	λ [/h] of Q[/vr]	5% ondergrens	95% bovengrens	Lit./blz	Opm.
Accubatterij	levert geen spanning	$6,6 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	B.9/3B34	1
	stopt voortijdig	$1,9 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	B.9/3B38	-
Coax-verbinding	maakt geen contact	$1,7 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	B.13/191	2
Drukknop	maakt geen contact	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/vr]	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	B.6/22	-
Eindschakelaar	opent niet	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/vr]	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	B.6/22	-
	sluit niet	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/vr]	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	B.6/22	-
	opent spontaan	$1,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	B.6/22	-
GEB / LS-aansluiting	valt uit	$4,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	B.3/66	3
Gelijkrichter Gestab. voeding 24V	geeft geen gelijkspanning	$7,8 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	B.9/3B15	-
Hoogspanningslijn	50 kV valt uit	$0,9 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	B.12/64	-
	110-220 kV valt uit	$0,8 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	B.12/76	-
	380 kV valt uit	$0,3 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	B.12/88	-
Kabel (bovengronds)	breekt	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/km/h]	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$	B.4/767	-
Kabel (grond)	breekt	$1,0 \cdot 10^{-6}$ [/km/h]	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	B.3/83	4
Kabel (in goot)	breekt	$1,2 \cdot 10^{-7}$ [/km/h]	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	B.4/764	-
Kabel (signaal/controle) / Kabel (glasfiber)	breekt	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/km/h]	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	B.4/772	-
Omvormer	geeft geen wisselspanning	$1,2 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	B.8/257	-
Modem (Solid State Device)	faalt	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	B.6/24	-
PLC	CPU valt uit	$5,1 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	B.8/291	5
	I/O kaart valt uit	$9,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	B.8/291	6
	Voeding valt uit	$2,9 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	B.8/291	7
	Geheugen module valt uit	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	Eng.Judg.	-
Rail	aan aarde	$4,5 \cdot 10^{-8}$ [/h]	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	B.9/3B1	-
Relais	bekrachtigt niet	$3,0 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	B.6/21	-
Schakelaar (hand-)	schakelt niet	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	B.2/5.1-1	-
Schakelaar (vermogens)	opent / sluit niet	$3,0 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	B.2/5.1-1	-
	opent spontaan	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	B.11/A.D-25	8
Smeltveiligheid	opent niet	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/vr]	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	B.6/22	-
	opent spontaan	$1,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	B.6/22	-
Spil-eindschakelaar	sluit niet	$1,0 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	B.2/5.1-1	-
	voortijdig open	$9,0 \cdot 10^{-8}$ [/h]	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	B.15/III 4.2	-
Thermische beveiliging	beveiligt niet	$3,0 \cdot 10^{-7}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	B.6/21	-
	voortijdig open	$3,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	B.6/21	-
Transformator	valt uit	$1,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	B.6/22	-

Tabel B3.8 Electromechanische componenten van beweegbare afsluitmiddelen

Component	Faalmanner	λ [/h] of Q [/vr]	5% ondergrens	95% bovengrens	Lit./blz	Opm.
Dieselgenerator	niet starten					
	met repeteerstart	$1,8 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	B.1/-	9
	zonder repeteerstart	$1,7 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	B.1/-	9
	gecombineerd	$1,0 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	B.6/13	-
	stopt voortijdig	$3,0 \cdot 10^{-3}$ [/h]	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	B.2/5.1-1	-
E-motor	start niet	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	B.6/22	10
	stopt voortijdig	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	B.6/22	10
E-motor gestuurde klep	sluit niet	$6,0 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	B.9/3M30	-
	opent niet	$5,1 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	B.9/3M52	-
	stopt voortijdig	$1,4 \cdot 10^{-6}$ [/vr]	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	B.9/3M68	-
E-motor aangedreven pomp	start niet	$4,8 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	B.9/3M09	-
	stopt voortijdig	$8,5 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	B.9/3M21	-
Luchtcoeler	start niet	$2,1 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	B.9/3A01	-
	stopt voortijdig	$1,1 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	B.9/3A05	-

Tabel B3.9 Hydraulische, mechanische en pneumatische componenten van beweegbare afsluitmiddelen

Component	Faalmanner	λ [/h] of Q [/vr]	5% ondergrens	95% bovengrens	Lit./blz	Opm.
Cilinder	faalt	$1,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	B.10/568	8
Drukvat	lekkage	$5,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	B.6/19	-
Filter	verstopt	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	B.6/19	-
Kogelkraan	opent/sluit niet	$3,5 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	B.9/3-XYZ-1	-
	verstopt	$1,9 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	B.9/3-XYZ-7	-
Lier	faalt tijdens bedrijf	$7,9 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	B.8/295	-
Pakking	lekkage	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	B.10/568	8
Regelklep	inwendige lekkage	$5,2 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	B.8/167	11
	regelt niet	$2,6 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	B.8/167	-
	verstopt	$1,7 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	B.8/167	-
Slang zwaar belast	lekkage	$4,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	B.10/568	8
Slang licht belast	lekkage	$4,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	B.10/568	8
Tandwielkast	blokken	$1,5 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	B.7/774	12
	voortijdig falen	$1,3 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	B.5/2-2	13
Tank	lekkage	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	B.6/12	-
Terugslagklep	opent niet	$1,5 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	B.9/3-C-76	-
	sluit niet	$1,6 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	B.9/3-C-64	-
	opent voortijdig	$9,5 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	B.9/3-C-83	-
Veerbelaste veiligheid	opent/sluit niet	$1,5 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	B.14/273	-
	sluit niet na openen	$1,0 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	B.14/273	-
Zuiger	lekkage langs cilinder	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	B.10/568	8

Tabel B3.10 Schuiven, deuren, schotbalken

Component	Gebeurtenis	Q [/vr]	Lit.	Opm.
Schotbalken	niet kunnen plaatsen in den droge	10^{-2} [/vr]	B.18	
	niet kunnen plaatsen in den natte	10^{-1} [/vr]	B.18	
	niet kunnen plaatsen in den natte, gegeven falen deuren/schuiven	$3 \cdot 10^{-1}$ [/vr]	B.18	
Schuifdeur	weigeren bewegingswerk	$3 \cdot 10^{-5}$ - $3 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	B.19	
	obstakel op de bodem	10^{-4} - 10^{-2} [/vr]	B.19	
	ernstige ijsvorming	10^{-9} [/vr]	B.20	
	aanvaring gesloten kering	$2 \cdot 10^{-5}$ [/sluiting]	B.20	14
Sluisdeur	weigeren bewegingswerk	10^{-4} [/vr]	B.19	
	zand/vuil op de bodem	10^{-2} [/vr]	B.18	
	obstakel op de bodem	10^{-4} [/vr]	B.19	
	weigeren tweede stel deuren, gegeven falen eerste stel	10^{-1} [/vr]	B.18	
	aanvaring gesloten deur	$3 \cdot 10^{-5}$ [/schip]	B.21	14
Onderdeel sluisolk	aanvaring	10^{-4} [/schutting]	B.19	
Zijkant vaarweg	aanvaring	10^{-6} [/km/schip]	B.19	

Tabel B3.11 Menselijke fouten

Type fout		Q [1/vr]	Lit.	Opm.
Alarmfout	aangewezen functionaris	10^{-3} [/vr]	B.18	
	andere functionaris	$5 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	B.18	
	bevolking	10^{-1} [/vr]	B.18	
Niet beschikbaar personeel	ziek	$5 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	-	
	ongeluk bij transport	10^{-5} [/km]	-	
	niet bereikbaar (indien geregeld)	10^{-2} [/vr]	-	
	niet bereikbaar (indien niet geregeld)	$2 \cdot 10^{-1}$ [/vr]	-	
Volgordefout (handeling uit hoofd)	2 items	$6 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	B.16	
	5 items	$4 \cdot 10^{-1}$ [/vr]	B.16	
Verzuimfout	met checklist	10^{-3} - $3 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	B.16	
	zonder checklist	$3 \cdot 10^{-3}$ - 10^{-2} [/vr]	B.16	
Keuzefout (zonder gedachtenfout)	verkeerde schakelaar	$5 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-3}$ [/vr]	B.16	
	verkeerde display	10^{-3} - $5 \cdot 10^{-2}$ [/vr]	B.16	
Behandelingsfout	schakelaar verkeerde stand	$5 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-1}$ [/vr]	B.16	
	verkeerd aflezen (factor 10)	$5 \cdot 10^{-4}$ - $4 \cdot 10^{-1}$ [/vr]	B.16	
Geen herstelpoging		10^{-1} [/vr]	-	

Tabel B3.12 Systemen

Systeem	Onderdeel/geheel	λ [/h] of Q [/vr]	Grenzen	Opm.
Gestabiliseerde Computervoeding	Gelijkrichter	$7,8 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Transformator	$1,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Schakelaar (spontaan open)	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]		
	Zekering (spontaan open)	$1,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]		
	Systeem (gelijkrichters redundant)	$1,6 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$6,1 \cdot 10^{-8}$ - $6,1 \cdot 10^{-6}$	
	Systeem (gelijkrichters niet redundant)	$9,4 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-7}$ - $3,8 \cdot 10^{-5}$	
Laadgelijkrichter	Accubatterij	$1,9 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Gelijkrichter	$7,8 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Omvormer	$1,2 \cdot 10^{-5}$ [/h]		
	Schakelaar (spontaan open)	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]		
	Systeem	$2,2 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$8,2 \cdot 10^{-7}$ - $8,2 \cdot 10^{-5}$	
No-Break set	Piller (inclusief net)	$1,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$3,8 \cdot 10^{-8}$ - $4,6 \cdot 10^{-6}$	17
	Strüver	$1,2 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$4,6 \cdot 10^{-8}$ - $4,6 \cdot 10^{-6}$	17
Regelbare aandrijving	E-motor	$3,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]		
	Solid State Drive	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Systeem (drie solid state devices plus E-motor)	$3,9 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$1,5 \cdot 10^{-6}$ - $1,5 \cdot 10^{-4}$	17
Naderingsschakelaar	Relais (bekrachtigt niet)	$3,0 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$1,1 \cdot 10^{-5}$ - $1,1 \cdot 10^{-3}$	
	Relais (geeft ten onrechte signaal)	$5,0 \cdot 10^{-7}$ [/h]	$1,9 \cdot 10^{-8}$ - $1,9 \cdot 10^{-6}$	
Meetopnemer	NBD4017 en Rittmeyer			
	(spontaan open per contact)	$9,0 \cdot 10^{-8}$ [/h]	$3,4 \cdot 10^{-9}$ - $3,4 \cdot 10^{-7}$	
	(niet sluiten per contact)	$1,0 \cdot 10^{-4}$ [/vr]	$3,8 \cdot 10^{-6}$ - $3,8 \cdot 10^{-4}$	
	Camille Bauer	$4,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]	$1,5 \cdot 10^{-7}$ - $1,5 \cdot 10^{-5}$	
	Codegever Stegmann	$1,5 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$5,7 \cdot 10^{-7}$ - $5,7 \cdot 10^{-5}$	
Nivometer	NBD4012 Drukdoos/Ultrasonor sys			
	Druksensor	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Meetversterker	$5,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Solid State Device	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Systeem	$1,1 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$4,2 \cdot 10^{-7}$ - $4,2 \cdot 10^{-5}$	
	NBD4012 Vlotter systeem			
	Druksensor (2x)	$6,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Mechanische vlotter	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]		
	Solid State Device	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Systeem	$1,9 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$7,2 \cdot 10^{-7}$ - $7,2 \cdot 10^{-5}$	
	NBD4012 Borrelbuis systeem			
	Druksensor (2x)	$6,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Meetversterker	$5,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Solid State Device	$3,0 \cdot 10^{-6}$ [/h]		
	Compressor (relatief laag ingeschat)	$1,0 \cdot 10^{-5}$ [/h]		
	Systeem	$2,4 \cdot 10^{-5}$ [/h]	$9,1 \cdot 10^{-7}$ - $9,1 \cdot 10^{-5}$	

B3.6 Aanbevelingen voor sluitingsprocedures

In aanvulling op en ter ondersteuning van de officiële beoordelingssysteemmatiek volgen hierna een aantal aanbevelingen voor goed ontwerp en beheer van beweegbare kunstwerken.

Het opstellen van procedures en afspraken

Voor het opstellen van procedures en afspraken dient men de volgende richtlijn in acht te nemen:

1. Eventuele andere procedures die eerst gedaan moeten worden, dienen te worden aangegeven.
2. De toestanden moeten aangegeven worden waarin een proces of (deel)installatie moet zijn voordat de procedure mag worden toegepast.
3. De akties moeten duidelijk in de vorm van handelingen gespecificeerd worden.
4. Grenswaarden moeten kwantitatief weergegeven worden.
5. De te hanteren regeleenheden of displays moeten volledig geïdentificeerd zijn.
6. De procedure moet uitgevoerd kunnen worden in de volgorde waarin hij geschreven is.
7. De procedure moet uitgevoerd kunnen worden zonder aanvullende informatie te verkrijgen van personen of documenten die niet door de procedure worden gespecificeerd.
8. De procedure moet uitgevoerd kunnen worden zonder directe assistentie van personen die niet door de procedure gespecificeerd worden.
9. Iedere stap moet afgetekend worden.
10. Iedere bladzijde moet voldoende identificatie-informatie bevatten ten aanzien van: procedurenummer en/of titel, datum van uitgifte, revisienummer en paginanummer
11. De laatste bladzijde van de procedure moet duidelijk zijn aangegeven.
12. De procedure moet een uniek en permanent nummer hebben.
13. De procedure moet een inleiding hebben waarin het doel is beschreven.
14. De procedure bevat de voorzorgsmaatregelen die in acht moeten worden genomen bij het uitvoeren van de procedure.
15. De kwalificatie van het personeel dat de procedure uitvoert, is aangegeven.
16. Het aantal personeelsleden om procedures uit te voeren is aangegeven.

Het verbeteren van de ergonomie

Toepassing van ergonomische richtlijnen kan een belangrijke bijdrage leveren aan een verbetering van de werksituatie en daarmee een verlaging van de kans op menselijke falen. Veelal zijn deze richtlijnen kwalitatief, d.w.z. ze hebben een invloed op de kans, maar hoe groot de invloed kwantitatief is, is vaak moeilijk aan te geven. Overigens is het toepassen van ergonomische vuistregels niet altijd voldoende. Het punt is dat de mens in staat is zich goed aan te passen aan veranderde omstandigheden in de werksituatie. Juist dit vermogen maakt het alleen toepassen van ergonomische richtlijnen niet altijd mogelijk en is de ervaring van een ergonoom vereist.

Beschouw als voorbeeld de opstelling van een regelpaneel, waarbij ondermeer rekening gehouden dient te worden met de volgorde van acties die men moet uitvoeren. Als het paneel zodanig is ingericht dat men bij een sluitingsprocedure iedere keer van de ene naar de andere kant van het paneel moet lopen, kan dit de kans op fouten vergroten. In het algemeen is men in die situatie geneigd zich aan te passen aan deze onvoldoende ergonomische situatie door de gewenste acties in een andere volgorde uit te voeren. Indien daarvoor echter een officiële werkinstructie ontbreekt, wordt de kans op ongewenste situaties vergroot, bijvoorbeeld doordat een essentiële handeling vergeten wordt.

Menselijke fouten observeerbaar en herstelbaar maken

In tegenstelling tot technische systemen heeft de mens de mogelijkheid gemaakte fouten te herstellen. Dit herstellfenomeen blijkt bij het voorkomen van ongewenste gevolgen door menselijke fouten een belangrijke rol te spelen. De kans op een ongewenst gevolg is een combinatie van de kans op een menselijke fout en de kans op het niet op tijd herstellen van die fout. Bij het voorkomen van veel ongewenste situaties blijkt het herstelaspect bij de mens een minstens zo belangrijke rol te spelen als de fout zelf.

De kans op herstel wordt bepaald door het feit dat de mens merkt dat er wat mis is (het falen moet observeerbaar zijn) en er moet nog tijd zijn om de fout te herstellen (het proces moet nog in een reversibele toestand zijn). Ook het proces zodanig inrichten dat de mens in staat is fouten op tijd te herstellen is essentieel. Veelal wordt een proces zodanig beveiligd en geregeld dat de mens de finesses van het proces niet meer kent: hij wordt buiten de regelkring geplaatst. Indien een proces zodanig is geautomatiseerd dat de mens herstelbare fouten mag maken, dan komt de mens beter te weten waar de systeemgrenzen liggen. Dit draagt bij tot een beter begrip van het proces en tot een optimaal gedrag van de mens in noodsituaties.

Voorbeeld: het observeerbaar maken kan gebeuren door het aanbrengen van alarmeringen. Dit hoeft overigens niet altijd tot een veiliger situatie te leiden. Er zijn ongevallen bekend waar juist teveel alarmeringen waren, waardoor de observeerbaarheid juist afnam.

In tegenstelling tot het observeerbaar maken, is het herstelbaar maken van fouten minder goed mogelijk. Dit wordt namelijk in belangrijke mate bepaald door de tijd die men nodig heeft om fouten te herstellen. Deze tijd bestaat uit de tijd om vast te stellen wat er aan de hand is (waarom sluit de kering niet?), de tijd die men nodig heeft voor de herstelhandeling (de kering wordt alsnog gesloten) en de tijd die vervolgens nodig is om de gewenste situatie te bereiken (de kering is gesloten). Het herstelbaar maken komt er dan vooral op neer de tijd voor het uitvoeren van de herstelhandelingen te verkleinen of de tijd nodig voor het vaststellen waarom de kering niet sluit te verkleinen door middel van training in ongewenste situaties.

Het trainen van menselijke handelingen

Mensen dienen getraind te worden in het uitvoeren van de juiste handelingen tijdens kritieke omstandigheden. Hiertoe dienen oefeningen te worden opgesteld waarbij de werkelijke omstandigheden zo goed mogelijk worden nagebootst. Gedetailleerde uitwerking hangt daarbij van het type kering af. Bij een coupure zal men bijvoorbeeld eenmaal per jaar op een niet aangekondigd tijdstip de schotbalken moeten aanbrengen. Bij een kering met een grote regelkamer, kan men de gehele regelkamer knop voor knop nabouwen en met een computer buitenomstandigheden en gevolgen van handeling simuleren. Om herstelvaardigheden te oefenen kan men tijdens een oefening bewust technische of menselijke fouten introduceren.

Controle door techniek

Controle van menselijke handelingen door technische systemen kan de kans op menselijke fouten belangrijk reduceren. Controle impliceert echter wel dat het systeem globaal de procedure bevat volgens welke de akties dienen te verlopen. Daarnaast dient het controlesysteem de belangrijkste toestanden van het te regelen systeem te kennen om zodoende te kunnen signaleren dat een bepaalde grootheid door het menselijk handelen nog niet gerealiseerd is. Om de kosten niet onnodig te verhogen, verdient het aanbeveling dit alleen toe te passen voor menselijke handelingen die een relatief hoge faalkans hebben.

Appendix B3 Voorbeeld keersluis

In deze appendix is het uitgewerkte praktijkvoorbeeld van de keersluis uit bijlage B8 nader uitgewerkt voor de beoordeling van de betrouwbaarheid van de sluiting. Achtereenvolgens is toepassing van zowel de eenvoudige methode, de gedetailleerde als een geavanceerde methode beschreven.

App B3.1 Beschrijving van de keersluis

De beschouwde keersluis beveiligt enkele achtergelegen gebieden tegen overstroming ten gevolge van hoogwater in het benedenrivierengebied. De normfrequentie van de dijkring bedraagt 1/2000. Naast de waterkerende functie heeft de sluis ook een functie met betrekking tot (niet intensieve) doorvaart van beroeps- en recreatievaart, en met betrekking tot de doorvoer van water.

De waterstandsfrequentielijn is gegeven door:

$$N\{h>H\} = 10^{-(H-A)/B} \text{ met } A = 1,86 \text{ m en } B = 0,42 \text{ m}$$

Deze lijn is inclusief 0,10 m hoogwaterstijging (horend bij een planperiode 50 jaar). De waterstand met een overschrijdingsfrequentie van 1/2000 per jaar is gelijk aan NAP + 3,25 m. Het effect van lokale opwaaiing is gering en bedraagt 0,03 meter. Seiches, buistoten en -oscillaties spelen geen rol. Zettingen zijn verwaarloosbaar klein. De in rekening te brengen hoogwaterstijging, voor zover nog niet in het MHW verdisconteerd, bedraagt 0,10 meter.

Figuur App B3.1 geeft een schematische tekening van de sluis. De belangrijkste gegevens m.b.t. de geometrie van de sluis zijn:

- hoogte sluisplateau: NAP + 4,25 m;
- hoogte deuren: NAP + 4,15 m;
- sluitpeil: NAP + 1,30 m;
- bovenkant vloer: NAP - 4,40 m;
- hoogte achterliggende kade: NAP + 2,20 m ('open keerhoogte');
- doorvaartbreedte: 14,00 m.

De sluis is voorzien van twee paar stalen puntdeuren die alleen bij hoge buitenwaterstand wordt gesloten. Dit gebeurt ongeveer 20 à 30 keer per winterseizoen en 5 à 10 keer per zomerseizoen.

Met betrekking tot het hoogwater waarschuwingssysteem is sprake van twee onafhankelijke continue niveaumeters en twee functionarissen die belast zijn met de aflezing. Dit kan worden opgevat als twee onafhankelijke

waarschuwingssystemen. De niveaumeters worden maandelijks getest. De kering is niet permanent bemand. Als verwacht wordt dat het sluitpeil binnen ongeveer een uur overschreden gaat worden, stuurt men vanuit een commandopost een beambte naar de sluis, die ter plekke de kering bedient. De procedures met betrekking tot mobilisatie zijn schriftelijk geregeld, inclusief een stand-by regeling. Er is echter geen voorwaarschuwing en geen terugmeldingsplicht. De sluis is afgelegen, maar voor personenwagens en bestelwagens goed bereikbaar.

De stalen puntdeuren worden gesloten door middel van systeem bestaande uit:

- 4 duwpersen;
- 4 hydraulische units;
- 1 meet- en regelunit.

Bij het bereiken van het sluitpeil moet de sluis worden gesloten. De bedieningsprocedure is eenvoudig met goede mogelijkheden voor controle op uitgevoerde handelingen en voldoende mogelijkheden (tijd) voor herstel. Er is een geregelde procedure en een terugmeldingsplicht. De keersluis is 's avonds altijd verlicht.

De twee stalen puntdeuren kunnen in beginsel onafhankelijk van elkaar worden gesloten en geopend. De puntdeuren kunnen worden gesloten zolang de stroomsnelheid minder is dan 4,0 m/s, welke zou kunnen optreden nadat één van de kaden van de boezem zou doorbreken (calamiteit). De stroomsnelheid wordt gemeten.

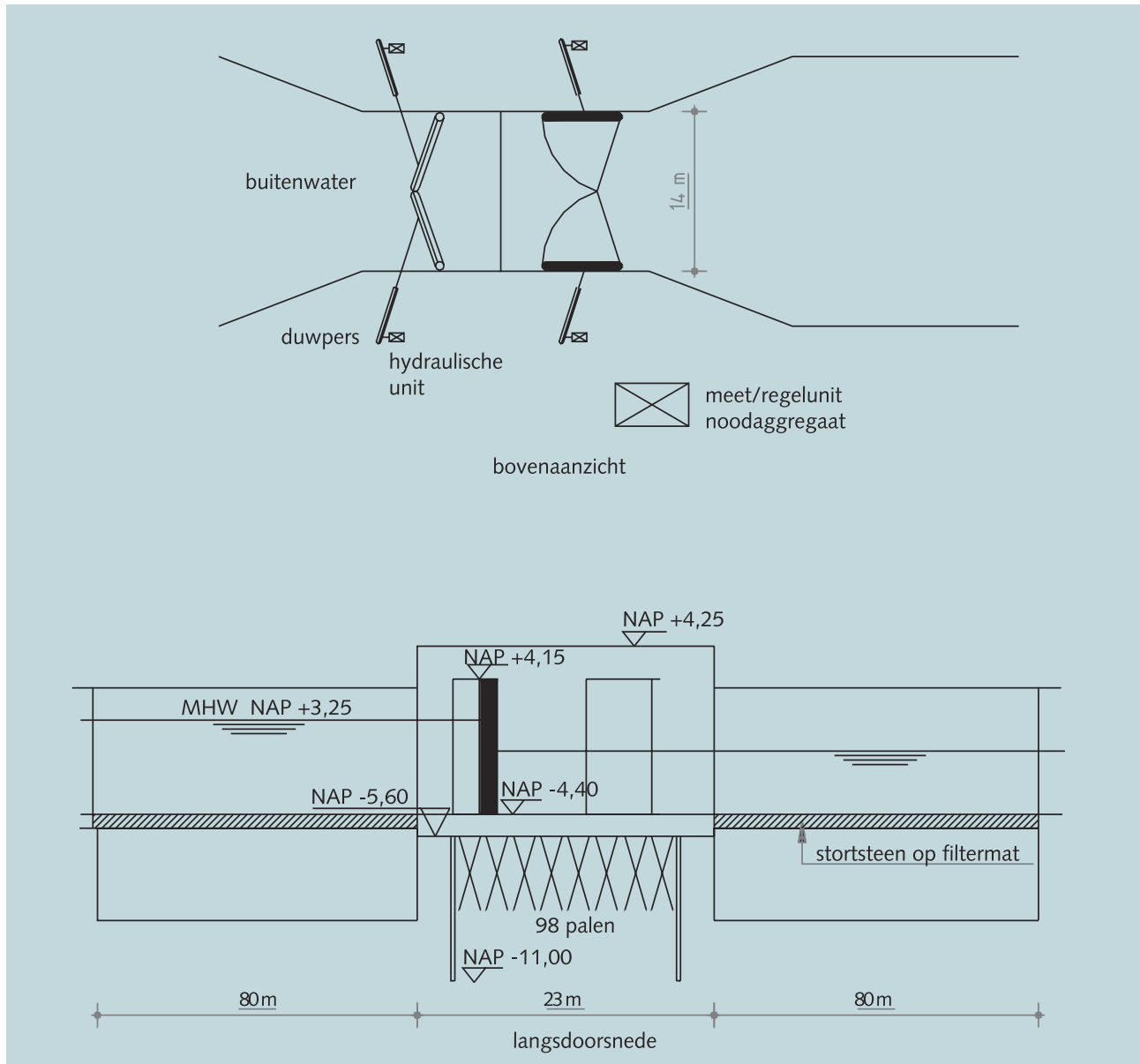
Bij storingen in het sluitingsmechanisme is geen mogelijkheid voor handbediening of een ander alternatief besturingssysteem aanwezig. Wel is er een noodaggregaat beschikbaar in geval van storingen in de energielevering.

App B3.2 Eenvoudige methode

De frequentie waarmee de buitenwaterstand de open keerhoogte van NAP + 2,20 m overschrijdt bedraagt:

$$N\{h>H\} = 10^{-(2,20-1,86)/0,42} = 0,16 \text{ [1/jaar]}$$

Er vanuit gaande dat bij geopende sluis de binnenwaterstand de buitenwaterstand instantaan volgt, en gezien het feit dat bij de bepaling van het open keerpeil de effecten van lokale opwaaiing (0,03 m) en extra



Figuur App B3.1
Overzicht keersluis

hoogwaterstijging (0,10 m) nog moeten worden meegenomen, wordt het open keerpeil vastgesteld op NAP +2,05 m. De overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil is derhalve beduidend groter dan 0,1 per jaar. De eenvoudige methode mag dan niet worden toegepast (zie B3.3).

Voor het overige voldoet de kering niet aan alle eisen die gesteld zijn, in de procedure voor hoogwateralarmering is geen terugmeldingsplicht aanwezig en in de procedure voor mobilisatie is geen voorwaarschuwingssysteem en geen terugmeldingssysteem aanwezig.

App B3.3 Gedetailleerde Methode

We volgen stap voor stap de procedure van bijlage B3.4.

Stap 1

We gaan hier alleen uit van de functie 'waterkeren'.

Stap 2

Voor de open keerhoogte kan worden uitgegaan van de hoogte achterliggende kade. Deze is gelijk aan NAP +2,20 m. Een hogere waterstand leidt tot inundatie. Indien er van uit wordt gegaan dat bij geopend keermiddel de binnenwaterstand de buitenwaterstand instantaan volgt (dit is een veilige benadering), dan kan het open keerpeil direct worden bepaald uit deze open keerhoogte verminderd met een waakhoogte.

Voor de waakhoogte wordt uitgegaan van $w = 0,15$ m. Hierin is zowel de extra hoogwaterstijging van 0,10 m (planperiode 100 i.p.v. 50 jaar) als de onzekerheid in de waterstand nabij het faalpeil verdisconteerd. Ergo: gevonden wordt voor het open keerpeil:

$$OKP = h_{okh} - w = \text{NAP} + 2,05 \text{ m (faalpeil)}.$$

Stap 3 Overschrijdingsfrequentie OKP

De overschrijdingsfrequentie van het OKP is dan gelijk aan:

$$N\{h > OKP\} = 10^{-(2,05-1,86)/0,42} = 0,35 / \text{jaar}$$

Het aantal vragen per jaar wordt gegeven door:

$$N\{OKP < h < MHW\} = N\{h > OKP\} - N\{h > MHW\} = 0,35 - 0,0005 = 0,35/\text{jaar}$$

Deze waarde worden dus geheel beheerst door de kans op het overschrijden van het open keerpeil.

Stap 4 Bepaling kans op niet sluiten per aanvraag

Voor de beantwoording van de vragen wordt gebruik gemaakt van de gegevens in App B3.1.1

Beantwoording vragen Hoogwateralarmeringssysteem

- a1 $a = 3$ De waterstand wordt continu automatisch geregistreerd en het systeem wordt maandelijks getest
- a2 $a = 4$ De registratie is continu

a3	a = 4	Er is geen controle of back-up
b1	b = 2	Er moet iemand gewaarschuwd worden
b2	b = 3	Er is een procedure
b3	b = 4	De kering sluit gemiddeld 20 maal per jaar
b4	b = 3	Er is één schakel in de commandopost / terugmelding is niet verplicht
c	c = 3	tussenscore $c = \min(a;b) = \min(4;3) = 3$
d		Er is geen tweede systeem
e		Er is geen tweede systeem
f	f = 0	Tussenscore
g	g = 0	De bevolking is te laat
h	E1 = 3	Eindscore: $E1 = c + f + g = 3$

Beantwoording vragen Mobilisatie

a1	a = 1	De bemanning is niet permanent bij de sluis
a2	a = 1,5	Er is een mobilisatieregeling
a3	a = 1,5	Er is geen voorwaarschuwing
a4	a = 1,5	Er is geen terugmeldingseis
a5	a = 2,0	Er zijn vele sluitingen in een jaar
b1	b = 1	Er is een stand-by regeling
b2	b = 1	Niet aanwezig
c	c = 3	Tussenscore
d1	d = 1	Geen volledige bemanning aanwezig
d2	d = 3	Goed bereikbaar
e	E2 = 3	eindscore: $E2 = \min(c;d) = 3$

Beantwoording vragen Bediening

a1	a = 2	Niet automatisch/wel procedure
a2	a = 2,5	Er is een terugmeldingsplicht
a3	a = 3	De procedure is bij alle betrokkenen bekend
a4	a = 3,5	De sluiting vindt enkele malen per jaar plaats
b	b = 1	Er is goede controle mogelijk op de handeling
c1	c = 1	Er is voldoende verlichting, dit wordt gecontroleerd
c2	c = 1	Er zijn sleutels nodig / over controle niets geregeld
c3	c = 1,5	Geen bijzondere hulpmiddelen nodig (dus er is voldoende communicatie)
d	d = 1	Waarschijnlijk, er is veel tijd
e	E3 = 2,5	Eindscore: $E3 = \min(a + b;c + d) = \min(4,5;2,5) = 2,5$

Beantwoording vragen Technisch Falen

eerste keermiddel:

- | | | |
|----|-------|---|
| a1 | a = 2 | Het is een permanente deur |
| a2 | a = 3 | Er zijn vele sluitingen per jaar |
| a3 | a = 3 | De scheepvaart is minimaal |
| b | b = 4 | De normale voeding is via het GEB, er is een noodaggregaat aanwezig |
| c | c = 3 | tussenscore $c = \min(a,b) = \min(3;4) = 3$ |
| d | d = 0 | er is geen reserve-aandrijving |
| e | e = 2 | geen bijzondere belemmeringen, speciale voorziening in deur |
| f | f = 0 | ingrijpen in de natte is zeer lastig vanwege de afgelegen ligging |
| g | g = 2 | tussenscore: $g = \min(c + d, e + f) = \min(3 + 0; 2 + 0) = 2$ |

Het tweede keermiddel is gelijk aan eerste:

- h = 2 tussenscore: $h = \min(c,e) = \min(3;2)-1 = 1$

Combinatie van de twee keermiddelen

- i $E4 = 3$ eindscore $E4 = g + h = 2 + 1 = 3$

Samenvattend:

Hoogwater waarschuwingssysteem	:	$E_1 = 3$
Mobilisatie	:	$E_2 = 3$
Sluiting; bedieningsfout	:	$E_3 = 2,5$
Sluiting; technisch falen	:	$E_4 = 3,0$

Voor het geheel : $E = \min E_i = 2,5$

Daarmee komt de kans op niet falen bij een gegeven vraag:

$$P_{ns} = 10^{-2,5} = 3,16 \cdot 10^{-3}$$

Step 5 Controle

De eis waaraan de sluitingsoperatie moet voldoen is:

$$n_i \cdot P_{ns} \leq 0,1 \text{ norm}$$

met: n_j = het aantal keren per jaar dat de kering moet worden gesloten (vragen/jaar)

P_{ns} = kans op niet sluiten, gegeven noodzaak (faalkans/vraag)

In de stappen 3 en 4 zijn bepaald:

$$n_j = 0,35 \text{ / jaar en } P_{ns} = 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ / vraag}$$

Daarmee:

$$n_j \cdot P_{ns} = 11,0 \cdot 10^{-4} \text{ / jaar}$$

$$0,1 \text{ norm} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ / jaar}$$

Er is dus niet aan de eis voldaan.

App B3.4 Geavanceerde Methode: Betrouwbaarheidsanalyse

1. Bepaling aantal vragen per jaar

De kans op falen bij (ten onrechte) niet gesloten kering is in beginsel bij deze methode gelijk aan die bij de vorige methode. In feite zou men echter niet moeten werken met een deterministische waakhoogte, maar met een probabilistische verwerking van onzekerheden in de statistiek en/of open keerhoogte. We nemen aan dat hier hetzelfde antwoord resulteert:

$$n_j = 0,35 \text{ per jaar}$$

Bij waterstanden tussen NAP +1,30 m (sluitpeil) en NAP +2,05 m wordt dus aangenomen dat geen inundatie optreedt omdat de dijken hoog genoeg zijn.

2. Bepaling kans op niet sluiten bij gegeven noodzaak

De uitwerking vindt plaats met behulp van een gebeurtenissenboom (zie figuur App B3.2):

Indien de begingebuurtenis wel optreedt, is er alleen sprake van inundatie als de deuren van de sluis niet gesloten zijn. Dit kan het gevolg zijn van:

- falen van het alarm;
- falen van de mobilisatie;
- falen van de bediening;
- falen van de elektrische of hydraulische systemen;
- blokkering van de deuren wegens obstakels of zand.

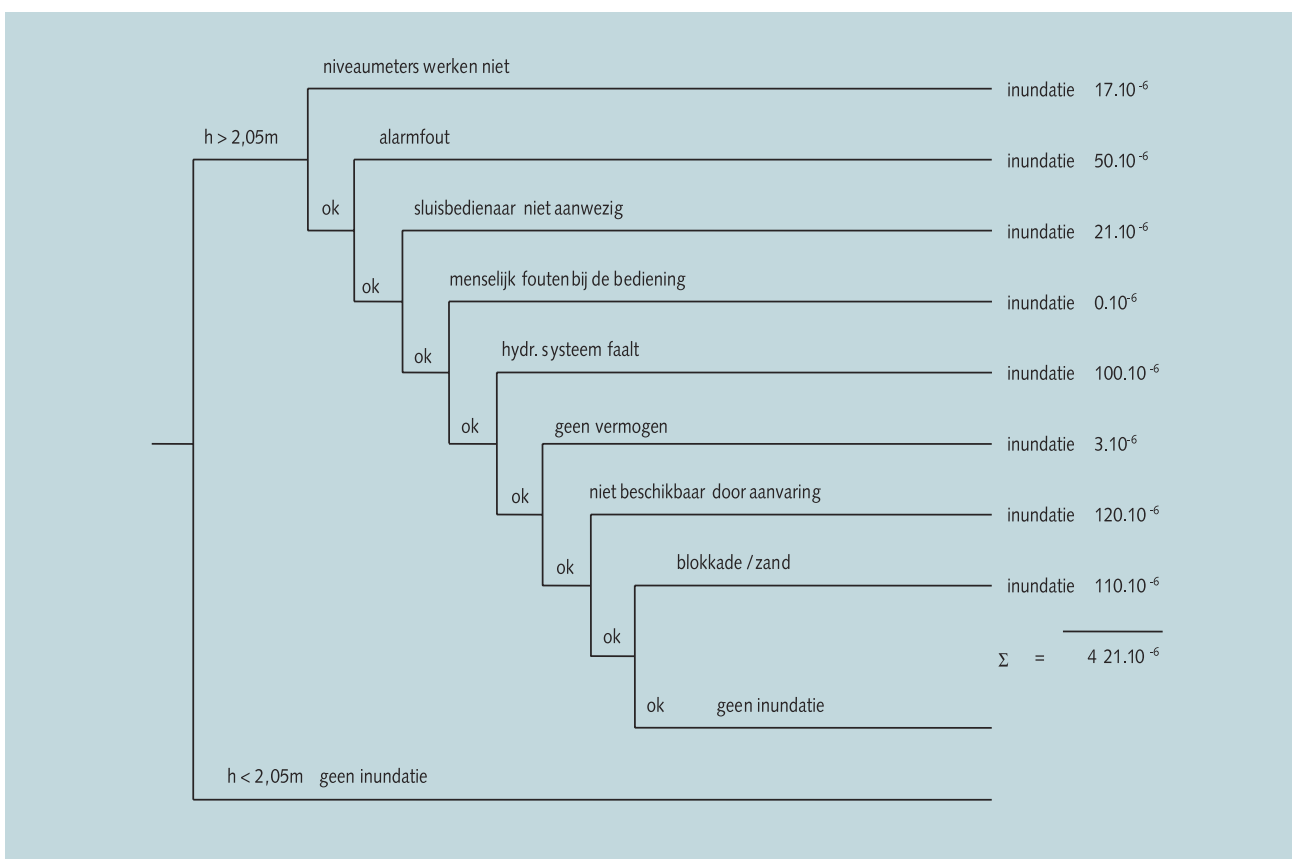
Systematisch worden in figuur App B3.2 de mogelijke faaloorzaken afgelopen en gekwantificeerd. De uiteindelijke faalkans van de kering wordt gevonden door de verschillende bijdragen op te tellen. Dit leidt tot een systeemfaalkans voor de kans op niet sluiten, gegeven noodzaak:

$$P_{ns} = 421 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ per vraag}$$

In de gebeurtenissenboom is gekozen voor een eenvoudige opzet, waarbij tal van herstelmogelijkheden buiten beschouwing zijn gelaten. Zo wordt er bijvoorbeeld vanuit gegaan dat inundatie optreedt zodra de niveaumeters niet goed werken. Hierbij wordt verwaarloosd dat in zo'n geval het bedienend personeel meestal ook nog wel andere indicaties heeft om te weten dat de deuren gesloten dienen te worden. Bij een analyse ligt het echter voor de hand zich te beperken tot het 'officiële en geregelde systeem'.

In de volgende gebeurtenissenboom worden de verschillende takken een voor een worden toegelicht:

*Figuur App B3.2
Gebeurtenissenboom
met conditionele kansen*



Alarmfase:

Niveaumeters werken niet

Het eerste wat volgens de gebeurtenissenboom fout kan gaan is dat de niveaumeters niet goed werken. De faalfrequentie van een niveaumeter is volgens tabel B3.12 in de orde van 10⁻⁵ per uur. Gegeven de faalfrequen-

tie is de vraag wat de kans is op niet beschikbaarheid. De niveaumeters worden iedere maand een keer gecontroleerd. Onder verwaarlozing van een reparatietijd is de niet-beschikbaarheid dan gelijk aan:

$$U = \lambda T / 2 = 10^{-5} \cdot 30 \cdot 24 / 2 = 3600 \cdot 10^{-6}$$

Omdat deze kans hoog is, ligt het voor de hand het systeem dubbel uit te voeren. De faalkans is dan gelijk aan:

$$U = (\lambda T)^2 / 3 = (10^{-5} \cdot 30 \cdot 24)^2 / 3 = 17 \cdot 10^{-6}$$

Dit getal lijkt zeer aanvaardbaar.

Alarmfout

Indien het niveausysteem goed werkt moeten de functionarissen op de commandopost nog goed reageren. In beginsel zijn er altijd twee mensen aanwezig. We nemen aan dat er een speciaal op de betreffende waterstand moet letten. De kans dat hier een alarmfout wordt gemaakt is volgens tabel B3.11:

$$P = P_1 \cdot P_2 = (10^{-3}) \cdot (5 \cdot 10^{-2}) = 50 \cdot 10^{-6}$$

Hierin is P_1 de kans op een alarmfout van de eerst aangewezen functionaris en P_2 die van de andere. Eventuele afwezigheid van deze functionarissen wordt geacht in deze kansen te zijn begrepen.

Mobilisatiefase:

Sluisbedienaar niet aanwezig

Indien de functionarissen in de commandopost opmerken dat het sluitpeil bereikt gaat worden, dienen zij een sluiswachter naar de sluis te sturen. Neem aan dat het bedieningsteam uit vier personen bestaat, waarvan er altijd een is die dienst heeft en een tweede die zich als reserve beschikbaar dient te houden. Er gaat dan iets fout als alle vier de sluiswachters ziek zijn of niet bereikbaar. De kans op ziek zijn van een wachter is volgens tabel B3.11 gelijk aan $5 \cdot 10^{-2}$ en de kans op niet bereikbaarheid is 10^{-2} indien de bereikbaarheid is geregeld is en $2 \cdot 10^{-1}$ als dit niet zo is. Er zijn nu de volgende faalmogelijkheden:

- geen wachter ziek, niemand bereikbaar:
 $P = (10^{-2})^2 \cdot 0,2^2 = 4 \cdot 10^{-6};$
- een wachter ziek, drie andere niet bereikbaar:
 $P = 4 \cdot (5 \cdot 10^{-2}) \cdot (10^{-2})^2 \cdot 0,2 = 4 \cdot 10^{-6};$
- twee wachters ziek, twee andere niet bereikbaar:
 $P = 6 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot (10^{-2})^2 = 2 \cdot 10^{-6};$

- drie wachters ziek, de vierde niet bereikbaar:
 $P = 4 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-6}$;
- vier wachters ziek:
 $P = (5 \cdot 10^{-2})^4 = 6 \cdot 10^{-6}$;
- totaal:
 $P = 21 \cdot 10^{-6}$.

Hierbij is dus aangenomen dat geen aanvullende maatregel wordt ondernomen als bekend is dat er drie of vier wachters ziek zijn. Dit is uiteraard een conservatieve aanname. Meestal zal men wel elders een sluiswachter vandaan kunnen halen, zeker als hoogwater te verwachten is.

Sluitingsfase/Menselijk falen:

Bedieningsfouten

Aannemende dat de sluiswachter op tijd ter plekke is, wordt in deze analyse verder aangenomen dat geen menselijke fout door indrukken van een verkeerde knop of iets dergelijks een substantiële bijdrage aan de faalkans kan leveren. De argumenten hiervoor zijn dat de sluis, het bedieningspaneel en de bedieningsprocedure erg eenvoudig zijn, controle op uitgevoerde handelingen goed mogelijk is, en de sluitingsprocedure kort is zodat vele vormen van herstel mogelijk zijn. Verder is er sprake van getraind personeel dat deze actie enkele malen per jaar uitvoert. Hooguit zal in gevallen waarin 'van alles misgaat' (late komst van de wachter, uitvallen stroom, weigering van de deuren) nog redelijkerwijs sprake kunnen zijn van een menselijke vergissing. Dit wordt in het kader van deze case echter buiten beschouwing gelaten.

Sluitingsfase/Technisch falen:

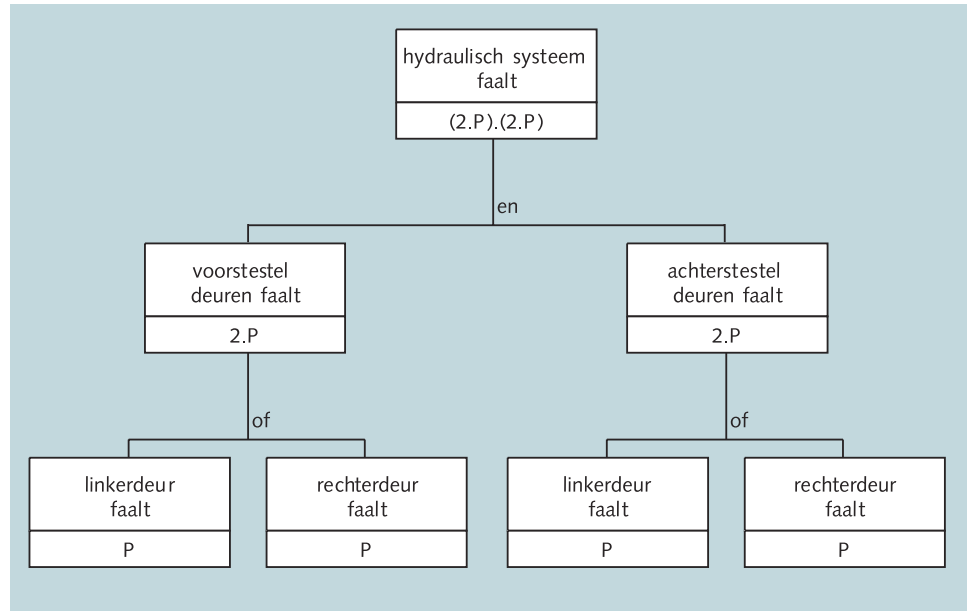
Hydraulisch systeem faalt

Het hydraulisch systeem faalt als een van de twee voorste systemen niet werken of een van de twee achterste systemen niet werkt. Bijgaand is een foutenboom getekend, met de bijbehorende kansen.

Ieder hydraulisch systeem is op zich zelf ook weer opgebouwd uit een aantal componenten. De belangrijkste hierbij is de hydraulische unit zelf. Als faalkans wordt de kans op het falen van een elektro-pomp aangehouden ($P_{\text{hyd}} = 5 \cdot 10^{-3}$ per vraag, zie tabel B3.5). Daarmee wordt de faalkans voor dit systeem:

$$P = 4 \cdot P_{\text{hyd}}^2 = 4 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 = 100 \cdot 10^{-6}$$

Figuur App B3.3
Foutenboom technisch
falen hydraulisch
systeem



Geen vermogen

De kans dat er geen elektrisch vermogen is om de hydraulische apparatuur te starten is gelijk aan de kans dat het Gemeentelijk Energiebedrijf geen vermogen levert, vermenigvuldigd met de kans dat het noodaggregaat niet werkt:

$$P = P_{\text{GEB}} \cdot P_{\text{nood}} = \lambda_{\text{GEB}} T_{\text{GEB}} Q_{\text{nood}} = (10^{-4} \cdot 3) \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 10^{-6}$$

Hierbij is uitgegaan van een frequentie van $\lambda = 10^{-4}$ per uur dat de stroom uitvalt (zie tabel B3.7) en een gemiddelde storingsduur $T = 3$ uur; de faalkans van de noodaggregaat is gelijk genomen aan de startfaalkans van een dieselgenerator. Volgens tabel B3.8 is dat 10^{-2} .

Niet beschikbaar door aanvaring

Een volgend faalmechanisme is dat de sluis niet beschikbaar kan zijn als gevolg van een aanvaring. De niet beschikbaarheid kan worden geschat volgens:

$$U = \lambda \Theta = N p' L \Theta$$

Voor deze case worden de volgende getallen gekozen:

$$\begin{aligned} N &= \text{aantal schepen per tijdseenheid} = 100/\text{dag} \\ p' &= \text{kans op aanvaring per schip per lengte-eenheid} = 10^{-6}/\text{schip/km} \end{aligned}$$

- L = lengte kwetsbare oevers = 40 m
 Θ = gemiddelde reparatietijd = 30 dagen (1 maand)

Met deze getallen volgt een niet beschikbaarheid van:

$$U = 100 \cdot 10^{-9} \cdot 40 \cdot 30 = 120 \cdot 10^{-6}$$

Blokkade/zand

Tenslotte is er nog de kans dat de deuren niet kunnen sluiten als gevolg van zand of obstakels. Van de betreffende sluis zijn op dit punt geen gegevens bekend. Op basis van tabel B3.10 kan in het algemeen worden geschat dat de kans op zand of vuil in de orde ligt van 10^{-2} per vraag en de kans op een obstakel in de orde 10^{-4} per vraag. Bij het ontwerp van deze sluisdeuren is echter speciaal rekening gehouden met de aanwezigheid van zand: tijdens draaien van de deuren is er een ruime spleet tussen bodem en onderkant deur. Als de deuren dicht zijn gaan er schuiven naar beneden om de spleet af te sluiten. Zonder verdere analyse wordt hier aangenomen dat hiermee de kans op niet sluiten ten gevolge van zandopeenhoping op de sluisvloer een orde lager is komen te liggen. Voor de obstakels wordt deze maatregel geacht geen effect te hebben. Voor een enkel deurenpaar wordt de kans op 'niet kunnen sluiten' gelijk aan:

$$P = P_{\text{zand}} + P_{\text{obs}} = 10^{-3} + 10^{-4} = 1100 \cdot 10^{-6}$$

Indien het eerste stel deuren niet wil sluiten is er nog altijd een tweede stel ter beschikking. De aard van de faalwijze leidt ertoe dat er sprake is van correlatie tussen de beide deurstellen: als het ene stel niet dicht wil is er een vergrootte kans dat het andere stel last heeft van hetzelfde obstakel. Volgens tabel B3.10 ligt de faalkans van het tweede stel, gegeven dat het eerste stel niet kan sluiten, in de orde van 10%. Daardoor volgt voor het systeem van twee deurstellen:

$$P = 0,1 \cdot (1100 \cdot 10^{-6}) = 110 \cdot 10^{-6}$$

3. Beoordeling betrouwbaarheid sluitingsoperatie

De eis waaraan de sluitingsoperatie moet voldoen is:

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

met: n_j = het aantal keren per jaar dat de kering moet worden gesloten (vragen/jaar)

P_{ns} = kans op niet sluiten, gegeven noodzaak (faalkans/vraag)

In het voorgaande is bepaald:

$$P = 4,2 \cdot 10^{-4} / \text{vraag en } n_j = 0,35 / \text{jaar}$$

Daarmee:

$$\begin{array}{ll} n_j \cdot P_{ns} & 14,7 \cdot 10^{-5} / \text{jaar} \\ 0,1 \cdot \text{norm} & 5,0 \cdot 10^{-5} / \text{jaar} \end{array}$$

Geconcludeerd wordt dat het systeem net niet voldoet aan de gestelde eis. Om aan de eis te voldoen zou de kans op niet sluiten P_{ns} moeten worden verlaagd van $4,2 \cdot 10^{-4}$ tot $1,4 \cdot 10^{-4}$.

Het ligt voor de hand om bij het vaststellen van mogelijkheden om de analyse aan te scherpen, dan wel het vaststellen van mogelijke verbetermaatregelen voor de sluis, te beginnen bij de grootste bijdragen. Gedacht kan worden aan het treffen van een voorziening voor handbediening voor het afvangen van de kans op falende hydrauliek en een calamiteitenplan voor aanvaringen ter beperking van de niet beschikbaarheid door aanvaringen.

B4 Sterkte en stabiliteit

B4.1 Inleiding

Deze bijlage geeft handvatten voor de ontwerpcontroles van een waterkerend kunstwerk of bijzondere constructie op het voldoen aan de eis gesteld aan de vereiste sterkte en stabiliteit uit oogpunt van waterkerende veiligheid. Een voldoende sterkte en stabiliteit van het waterkerende kunstwerk is gewaarborgd, indien wordt voldaan aan de in bijlage B1 vermelde (top)eis aan de kans op constructief bezwijken van de waterkering:

$$P\{\text{bezwijken} \mid h \leq \text{MHW}\} < 0,01 \times \text{norm.}$$

Op basis van deze topeis dient de taakstellende eis voor de sterkte van het waterkerende kunstwerk of de bijzondere constructie te worden bepaald. Deze afgeleide eis kan verschillend zijn voor verschillende typen constructies. Immers, een constructie kan de waterkerende functie volledig zelfstandig moeten vervullen (type I), of de waterkerende functie in combinatie met het aanwezige grondlichaam moeten vervullen (type II), of de waterkerende functie moeten overnemen van een andere constructie als deze gefaald heeft (type III).

Een overzicht van de indeling van de in deze Leidraad onderscheiden waterkerende constructies in genoemde drie typen, en wat dat kan betekenen voor de aan deze constructies te stellen constructieve eis, is weergegeven in het overzicht op de volgende pagina.

De strengere taakstellende (top)eis voor type IIa en type IIIa constructies is van toepassing indien er sprake is van een duidelijk onderscheid tussen faalmechanismen, die samenhangen met falen van de constructie, en faalmechanismen, die samenhangen met falen van het grondlichaam. Het falen van één van deze deelsystemen leidt tot het falen van de waterkering (bijvoorbeeld een grondkerende damwand in de teen van een dijk). De constructie en het grondlichaam kunnen dan worden gezien als onafhankelijke seriegeschakelde deelsystemen. In beginsel dient hiervan te worden uitgegaan, tenzij wordt aangetoond dat er sprake is van sterke correlatie tussen de faalmechanismen van constructie en grondlichaam. In dat geval mag worden uitgegaan van de minder strenge (top)eis die ook geldt voor type I constructies.

De type III constructies dienen de waterkerende functie van het grondlichaam over te nemen indien deze door falen van een niet waterkerende constructie of object zijn waterkerend vermogen verliest. De (top)eis van dit type constructies kan derhalve worden bepaald door het delen van de

waterkerend kunstwerk	bijzondere constructie	type	kenmerkende waterkerende functie	taakstellende (top)eis voor de sterkte
- sluizen (schut-, stroom- en keersluizen) - hoogwater- en stormvloedkeringen - coupures - gemalen - duikers en hevels - pijpleidingen - tunnels zonder kanteldijken	- specifiek beweegbare keringen (roteerbare, verschuifbare, oppompbare of mobiele keringen) - kistdammen/diepwanden - cellen-/combiwanden - keermuren/kadewanden	I	volledig zelfstandig	1/100 norm
	- damwandschermen (t.b.v. stabiliteit, kwel, erosie, functiescheiding etc.) - palenwanden - keer- en dijkmuurtjes - gewapende grond	II	in combinatie met grondlichaam	a) 1/200x norm (onafhankelijk) b) 1/100x norm (afhankelijk) <i>(eis zowel voor grondlichaam als voor constructie)</i>
	- damwanden in kanteldijken bij tunnels - vervangende waterkering bij kruisingen van pijpleidingen	III	na falen andere constructie (vervangende waterkering)	conditionele faalkans: a) 1/200x norm / Pf; constr b) 1/100x norm / Pf; constr beiden met ondergrens $10^{-5}/\text{jr}$ (TGB veiligheidsklasse 3)

(top)eis van de waterkering door de faalkans van de niet waterkerende constructie of het object. Indien een dergelijke vervangende waterkering ook onder normale omstandigheden een functie heeft als waterkerend element, dient deze uiteraard als constructie type II te worden beschouwd.

Nadat aan de hand van het overzicht de eis voor de constructie is vastgesteld kan het ontwerp hierop worden gecontroleerd. Binnen deze controle kunnen twee hoofdstappen worden onderscheiden, welke kort zijn beschreven in het volgende schema.

De in figuur 4.1 beschreven werkwijze is een deterministische of semi-probabilistische controlemethode die aansluit op de systematiek van de Technische Grondslagen voor Bouwvoorschriften; de ontwerpwaarde van de aanwezige belastingen wordt vergeleken met de ontwerpwaarde van de sterkte. Ten aanzien van een tweetal aspecten zijn de bestaande TGB-normen echter onvoldoende toereikend om de vereiste ontwerpcontroles te kunnen uitvoeren, te weten:

1. Inventariseren en ordenen van belastingen en faalmechanismen

1.1 inventarisatie van de van belang zijn belastingssituaties die in de levensduur kunnen voorkomen (bijvoorbeeld bouwphase, maatgevend hoogwater, maatgevend laagwater, groot onderhoud etc.)	zie par. B4.2
1.2 inventarisatie van de per belastingssituatie mogelijk optredende uitwendige belastingen (bijvoorbeeld in geval van een verankerde damwandconstructie: grond- en grondwaterdruk, bovenbelasting etc.)	
1.3 inventarisatie van te controleren faalmechanismen (bijvoorbeeld in geval van een verankerde damwandconstructie: groundbreuk, bezwijken profiel, afschuiving, bezwijken anker etc.) voor zover bezwijken zou leiden tot verlies van waterkerend vermogen	

2. Uitvoeren sterkecontrole per faalmechanisme

2.1 bepalen van de toelaatbare kans op het beschouwde faalmechanisme	zie par. B4.3
2.2 bepalen van de rekenwaarde van de belastingen en vaststellen van de maatgevende belastingcombinatie	zie par. B4.4 / B4.5
2.3 bepalen van de rekenwaarde van de sterkte	zie par. B4.6
2.4 controleren of rekenwaarde van de sterkte groter is dan de rekenwaarde van de belastingen	

Figuur 4.1
Controle sterkte en stabiliteit uit oogpunt van waterkerende veiligheid.

- de eis die vanuit de waterkerende veiligheid aan de kans op constructief bezwijken wordt gesteld is in een aantal gevallen een strengere eis dan de betrouwbaarheidseis die correspondeert met de hoogste veiligheidsklasse uit de TGB;
- bij het ontwerp van waterkerende kunstwerken en bijzondere waterkerende constructies zijn een aantal typische 'waterbouwkundige' belastingen en mechanismen van belang, die niet in de TGB worden behandeld.

Het zwaartepunt van deze bijlage ligt dan ook bij de behandeling van deze twee aspecten. Voor de duidelijkheid wordt opgemerkt dat deze bijlage betrekking heeft op de controle van faalmechanismen uit oogpunt van de vereiste veiligheid tegen overstroming door buitenwater. Dit betekent dat uitsluitend faalmechanismen, die leiden tot het verlies van de waterkerende functie, aan de bovengenoemde eis moeten voldoen.

Een meer geavanceerde controle kan worden uitgevoerd door middel van probabilistische berekeningen; bij gegeven verdelingsfuncties van belastingen en sterkte wordt de kans op constructief bezwijken berekend. Het uitvoeren van dergelijke berekeningen maakt geen deel uit van deze bijlage. Voor de betrouwbaarheidsanalyse in algemene zin wordt verwezen naar bijlage B3.

Uitgangspunt is voorts dat aan vervormingen (grenstoestand 2 in de TGB) vanuit de functie waterkeren geen absolute eisen worden gesteld. Voorwaarde is wel, dat aan de functionele eis voor waterkeren wordt voldaan. Er mag echter van worden uitgegaan dat het waterkerend vermogen van een kunstwerk ten gevolge van vervormingen niet in gevaar komt, indien aan de eisen voor grenstoestand 2 in de TGB wordt voldaan.

Tot slot wordt opgemerkt, dat het kunstwerk ook aan het eind van zijn geplande levensduur nog aan de waterkerende eisen dient te voldoen. Uit oogpunt daarvan dient in het ontwerp ook rekening te worden met verouderingsmechanismen met een negatieve invloed op de sterkte. Daarbij wordt in het bijzonder gedacht aan vermoeïing en corrosie. Hierop is nader ingegaan in paragraaf B4.6.

B4.2 Belastingsituaties

Belastingsituaties, die van belang zijn voor de waterkerende functie hebben niet alleen betrekking op een extreem hoge buitenwaterstand. Alle belastingsituaties, die tijdens het gebruik (of fouten bij gebruik) kunnen optreden, kunnen van belang zijn. In elke belastingsituatie moet verder worden nagegaan hoe de verschillende belastingen voor de relevante faalmechanismen van constructieonderdelen moeten worden gecombineerd.

De volgende belastingsituaties zijn in ieder geval van belang:

1. gebruiksfase (situatie bij maatgevend hoogwater en bij maatgevend negatief verval);
2. bouwfase en onderhoudsfase.

ad1. Gebruiksfase

Voor de gebruiksfase worden alle mogelijk optredende situaties beschouwd die tijdens het 'dagelijks' gebruik van het kunstwerk kunnen voorkomen. Als belangrijke situatie naast het maatgevend hoogwater (MHW) dient ook rekening te worden gehouden met een negatief verval

over het kunstwerk. De behandeling van de belastingen in paragraaf B4.4 is primair gericht op de gebruiksfase van het kunstwerk. Voor verdere invulling wordt naar deze paragraaf verwezen.

Aandachtspunt bij de beschouwing van de gebruiksfase zijn mogelijk optredende bijzondere omstandigheden die bijvoorbeeld kunnen ontstaan na een calamiteit. Informatie uit de beschouwing van de bouwphase of onderhoudphase kan van belang zijn voor de wijze waarop daarmee kan worden omgegaan.

ad2. Bouwphase en onderhoudphase

Ook in de bouwphase en onderhoudphase moet aan de waterkeringeisen worden voldaan. Voor deze belastingsituaties dient met mogelijk andere maatgevende belastingen rekening te worden gehouden, zoals bijvoorbeeld de bovenbelasting ten gevolge van een bouwkraan. Indien de werkzaamheden buiten het stormseizoen worden uitgevoerd mag in de regel van een lagere ontwerpwaterstand worden uitgegaan dan voor de gebruiksfase. Mogelijk kan deze lagere ontwerpwaterstand worden aangegeven door de betreffende beheerder van de waterkering. Indien dit niet het geval is kan advies worden gevraagd bij de Helpdesk Waterkeren (015-2158450).

B4.3 Vaststellen van de vereiste betrouwbaarheid

Bij het ontwerp van een (bouw)constructie dient minimaal te worden voldaan aan de betrouwbaarheidseisen die ten grondslag liggen aan de in de NEN 6700-serie gegeven veiligheidsklassen en bijbehorende referentieperiodes. De betrouwbaarheidseis voor constructies in een zekere veiligheidsklasse is geformuleerd in de vorm van de betrouwbaarheidsindex voor de referentieperiode β_N . Aan constructies in de hoogste veiligheidsklasse, waar constructies in primaire waterkeringen ook in vallen, is als betrouwbaarheidseis gesteld $\beta_N = 3,6$ waarbij voor de referentieperiode N wordt uitgegaan van een periode van 50 jaar. Deze betrouwbaarheidsindex correspondeert met een faalkans (kans op constructief bezwijken) die te berekenen is met de verdelingsfunctie van de standaard normale verdeling. Deze berekening verloopt als volgt:

$$p_c = \Phi(-\beta_N) = \Phi(-3,6) = 1,6 \cdot 10^{-4}$$

met: p_c = kans op constructief bezwijken gedurende de referentieperiode

$\Phi(..)$ = verdelingsfunctie voor de standaard normale verdeling

$\beta_N =$ betrouwbaarheidsindex betrokken op de referentieperiode

Berekening van constructies op de vereiste betrouwbaarheid is praktisch inhoud gegeven door onder meer de voorgeschreven waarden voor de partiële factoren in de NEN.

Voor waterkeringen wordt een veiligheidsnorm (toelaatbare faalkans) gehanteerd die is gekoppeld aan een (referentie)periode van 1 jaar. Indien het begrip 'normfrequentie' in combinatie met belastingen en sterkte volgens de NEN (referentieperiode van 50 jaar) wordt gebruikt, is dus een vertaalslag benodigd. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de volgende berekening:

$$\beta_N \approx -\Phi^{-1}(\xi_c * f_N * \text{norm})$$

met: $\xi_c =$ faalruimtefactor

$f_N =$ levensduurfactor

De aanbevolen waarden voor de parameters faalruimtefactor en levensduurfactor worden hierna kort toegelicht.

Faalruimtefactor ξ_c

Startpunt voor de bepaling van de aan te houden waarde voor de faalruimtefactor vormt de in paragraaf B4.1 gegeven topeis aan de kans op constructief bezwijken van de waterkering van $0,01 \times \text{norm}$. Deze eis leidt voor type I constructies tot een topeis aan de kans op constructief bezwijken van eveneens $1/100 \times \text{norm}$, en dus bedraagt de faalruimtefactor voor dit type constructies $1/100$. Voor de meeste type II constructies bedraagt de faalruimtefactor $1/200$.

Omdat de topeis betrekking heeft op de constructie als geheel zou in theorie deze faalruimtefactor nog moeten worden onderverdeeld over de afzonderlijke faalmechanismen. Dit leidt tot lagere waarden voor de factor ξ_c en daarmee hogere waarden voor de vereiste β_N . Omdat er echter veelal sprake is van een aanzienlijke afhankelijkheid tussen de kansen op optreden van de verschillende faalmechanismen via met name de optredende waterstand, en vanwege de in de praktijk aanwezige redundantie in de constructie, mag in beginsel de eis op constructieniveau rechtstreeks worden overgenomen voor de afzonderlijke faalmechanismen.

Levensduurfactor f_N

Aanbevolen wordt om voor de levensduurfactor uit te gaan van een (maximale) waarde van 10 jaar. Met deze aanbeveling wordt aangesloten

op een eerder door TAW-E aanbevolen voorlopige aanpak, welke ook is overgenomen in het 'Technisch Rapport Kistdammen en Diepwanden' [ref. B4.1] en in het 'Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen' [ref. B4.2].

Onderliggend aan deze aanbeveling is het gegeven dat voor veel soorten constructies, en de daarmee samenhangende faalmechanismen, het uitgaan van de daadwerkelijke geplande levensduur zou leiden tot het niet voldoen aan de veiligheidseis voor waterkeren. Oorzaak daarvan is de in de praktijk aanwezige correlatie tussen de faalkansen in de afzonderlijke jaren binnen de levensduur. Indien de vereiste faalkans in de levensduur wordt berekend uit vermenigvuldiging van de vereiste faalkans per jaar met het daadwerkelijke aantal jaren in geplande levensduur wordt deze correlatie verwaarloosd, en daarmee een te hoge waarde bepaald. Dit effect is sterker naarmate de faalkansen in de afzonderlijke jaren binnen de levensduur onderling sterker gecorreleerd zijn. In het uiterste geval van volledige correlatie is de faalkans per jaar gelijk aan de faalkans in de levensduur. Belangrijke oorzaak van correlatie tussen de faalkansen in afzonderlijke jaren is veelal de in de regel sterke correlatie van de overschrijdingskans van een zekere sterkte in de afzonderlijke jaren. In veel gevallen bepalen immers het ontwerp en uitvoering de aanvankelijk gerealiseerde sterkte, welke vervolgens (de effecten van veroudering en eventueel onderhoud of renovatie daargelaten) is te beschouwen als min of meer onveranderlijk. Indien dus de relatieve bijdrage van de onzekerheid in de sterkte aan de faalkans van de constructie relatief groot is, zal in de regel ook de correlatie tussen de faalkansen in de afzonderlijke jaren relatief groot zijn, en zou dus een levensduurfactor moeten worden toegepast die beduidend kleiner is dan de daadwerkelijk geplande levensduur.

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat in het geval dat de relatieve bijdrage van de onzekerheid in de belasting aan de faalkans van de constructie groot is, en de overschrijdingskans van de dominante belasting in opeenvolgende jaren wel te beschouwen is als min of meer onafhankelijk, (zoals bijvoorbeeld het geval is voor hoge waterstanden en/of golven) de beperking van de levensduurfactor tot een maximale waarde van 10 jaar tot een (te) veilige benadering kan leiden. Een hogere waarde, maximaal gelijk aan de werkelijke geplande levensduur van veelal 100 jaar, is dan meer realistisch. Het aanscherpen van de sterkte- en stabiliteitsberekeningen voor die gevallen is echter alleen mogelijk door middel van een probabilistische analyse.

Samenhangend met hetgeen hiervoor over de levensduurfactor is vermeld is er nog een tweede reden om voor de levensduurfactor uit te gaan van een waarde van 10 jaar. Dit heeft te maken met de toelaatbare spre-

ding van de faalkansen in afzonderlijke jaren binnen de levensduur. Hieraan wordt, conform ISO-normering, een beperking gesteld met de eis dat de piekwaarde van de faalkans in een individueel jaar niet groter mag zijn dan 10 maal de gemiddelde faalkans per jaar in de levensduur. Daarmee wordt voorkomen dat bijvoorbeeld voor een damwandconstructie, waarvan de faalkans in de levensduur sterk bepaald wordt door de faalkans in het eerste jaar, een grote levensduur leidt tot een te grote toelaatbare faalkans in het eerste jaar. Door uit te gaan van een levensduurfactor van 10 jaar wordt automatisch aan deze eis voldaan.

Uitgaande van een faalruimtefactor van $\xi_c = 0,01$ voor type I constructies en sommige type II constructies, en een levensduurfactor van $f_N = 10$ jaar, worden voor de vier normfrequenties de volgende betrouwbaarheidsindices berekend:

- norm = 1/1250 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx 3,8$
- norm = 1/2000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx 3,9$
- norm = 1/4000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx 4,1$
- norm = 1/10.000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx 4,3$

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat bij de genoemde waarden voor de faalruimtefactor en levensduurfactor, de vereiste betrouwbaarheid volgens vanuit de aan de waterkerende functie gestelde toelaatbare kans op constructief bezwijken hoger is dan de eis uit de NEN. Voorts blijkt dat de betrouwbaarheidsindices voor de laagste twee normfrequenties goed aansluiten op het veiligheidsniveau van $\beta_N \approx 4,2$ behorend bij de hoogste veiligheidsklasse in 'CUR rapport 166 (Damwandconstructies)' [ref. B4.3], zoals overigens ook daarin al is vermeld.

In geval van langgerekte constructies zou conform de 'Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken' en 'CUR rapport 166' extra veiligheid in rekening moeten worden gebracht om het lengte-effect te verdisconteren. Op basis van laatstgenoemd rapport wordt aanbevolen om voor strekkingen langer dan 100 meter de waarde van de vereiste betrouwbaarheidsindex met 10% te verhogen.

Het realiseren van een hoger betrouwbaarheidsniveau binnen de systematiek van de NEN 6700-serie is mogelijk door uit te gaan van veiliger rekenwaarden voor belastingen en sterkte. Aan de belastingkant betekent dit dat een hogere representatieve waarde voor de belasting en/of een hogere belastingfactor moet worden bepaald. Aan de sterktekant betekent dit dat een hogere waarde voor de materiaalfactor moet worden bepaald. Hierop wordt in de paragrafen B4.4 (Belastingen) en B4.6 (Sterkte) nader ingegaan.

B4.4 Belastingen

B4.4.1 Inleiding

Conform de NEN 6702 kan onderscheid worden gemaakt in permanente, veranderlijke en bijzondere belastingen. De belangrijkste belastingen die betrekking hebben op (met name de civiele constructie van) waterkerende kunstwerken zijn:

Permanente belastingen:

- eigen gewicht constructie(onderdelen);
- gronddruk;
- (grond)waterdruk (ook opdrijvende kracht).

Veranderlijke belastingen:

- drukverschillen ten gevolge van waterstanden (MHW-situatie, negatief verval);
- drukverschillen ten gevolge van windgolven (inclusief eventuele golfklappen);
- stroming (inclusief eventuele daardoor veroorzaakte trillingen);
- scheepsgolven / translatiegolven (niet tijdens MHW);
- scheepsstroming;
- troskrachten;
- verkeersbelastingen;
- temperatuurbelastingen;
- winddrukken.

Bijzondere belastingen:

- aanvaring;
- aardbeving;
- explosie;
- ijs;
- stroming in geval van niet sluiten;
- vandalisme en sabotage.

In de hierna volgende paragrafen wordt nader ingegaan op het bepalen van de rekenwaarden van deze belastingen, en hoe deze in belastingcombinaties in rekening worden gebracht.

Naast de hier genoemde 'externe' belastingen dient met name in geval van waterkerende kunstwerken ook rekening te worden gehouden met 'interne' belastingen die samenhangen met het gebruik van het kunstwerk. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld de krachten op keermiddelen vanuit de geleiding door vervorming van opleggingen, de krachten

vanuit het bewegingswerk op de keermiddelen indien de beweging bij sluiting door een obstakel op de bodem wordt geblokkeerd, of aan de vasthoudkracht vanuit het bewegingswerk. De interne belastingen worden in deze bijlage niet nader beschouwd.

Belangrijk is voorts te onderkennen dat met name sommige van de genoemde veranderlijke belastingen een dynamisch karakter kunnen hebben, zoals golfbelastingen en stromingsbelastingen. Bij het ontwerp van schuiven en bewegingswerken is dit een mogelijk essentieel aspect.

B4.4.2 Rekenwaarden voor de belasting

Ten behoeve van de ontwerpcontrole van constructieonderdelen op sterkte en stabiliteit dient de rekenwaarde van belastingen te worden bepaald. Algemene basisinformatie hierover is te vinden in NEN-normen, met name de NEN 6702 (Belastingen en vervormingen). De rekenwaarde van een belasting is gelijk aan de representatieve waarde van die belasting, vermenigvuldigd met een belastingfactor:

$$F_d = \gamma F_{rep}$$

met: F_d = rekenwaarde van de belasting
 γ = belastingfactor
 F_{rep} = representatieve waarde van de belasting

De rekenwaarden van belastingen voor bouwconstructies worden in het algemeen bepaald conform NEN 6702 en onderliggende NEN-normen in de NEN 6700-serie. Omdat de NEN-normen niet specifiek gericht zijn op waterbouwkundige kunstwerken, geven deze normen geen aanknopingspunt voor de bepaling van de rekenwaarde van een aantal typische belastingen die een belangrijke rol spelen bij het ontwerp van dit type constructies. In de navolgende paragrafen worden handreikingen gegeven voor de bepaling van de rekenwaarden van ook deze belastingen. Bij het samenstellen van belastingcombinaties hoeft er niet vanuit te worden gegaan dat alle mogelijk optredende belastingen op hetzelfde tijdstip maximaal ongunstig werken. De gangbare regel is om steeds voor één belastingbron de meest ongunstige waarde aan te houden (de zogenaamde dominante waarde van de belasting) en voor de overige belastingen uit te gaan van een andere, minder ongunstige, representatieve waarde (de zogenaamde combinatiewaarde).

De voor constructies in waterkeringen meest voorkomende belastingbronnen, en hun in rekening te brengen representatieve waarden en

belastingfactoren, zijn verzameld in tabel B4.1 en worden direct daarna toegelicht.

Belasting	Rekenwaarde dominante belasting	Rekenwaarde combinatiebelasting	Opmerking
PERMANENT: eigen gewicht gronddruk grondwaterdruk	$(1,35 \text{ of } 1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$ $(1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$ $(1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$	$(1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$ $(1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$ $(1,2 \text{ of } 1,0 \text{ of } 0,9) F_{rep}$	conform TGB conform TGB conform TGB
VERANDERLIJK: drukverschillen t.g.v. - waterstanden - windgolven stroming scheepsgolven scheepsstroming troskrachten windbelasting temperatuur verkeersbelasting	$1,25 F_{norm}^{1), 2)}$ $1,25 F_{norm}$ $1,3 F_{50}^{3)}$ $1,3 F_{max}$ $1,3 F_{max}$ $1,3 F_{max}$ $1,5 F_{extreem}$ $1,5 F_{extreem}$ $1,5 F_{rep}$	$1,25 F_{10}$ $1,25 F_{10}$ $1,3 F_1$ $1,3 F_{max}$ $1,3 F_{max}$ $1,3 F_{max}$ $1,5 \psi F_{extreem} (\psi = 0,2)$ $1,5 F_{momentaan}$ $1,5 F_{rep}$	conform TGB conform TGB
BIJZONDER: aanvaring aardbeving explosie ijs stroming (niet sluiten) vandalisme/sabotage	$F_{nominaal}$ n.v.t. $F_{nominaal}$ F_{CUR166} $F_{norm}^{3)}$ -	0 0 0 0 0 -	
F_{rep} = representatieve waarde van de belasting F_{norm} = representatieve waarde van de belasting voor variabele belastingen met een herhalingsstijd van 1/norm frequentie F_n = representatieve waarde van de belasting voor variabele belastingen met een herhalingsstijd van n jaar F_{max} = maximale waarde voor de representatieve belasting uitgaande van de maatgevende scheepsklasse $F_{extreem}$ = extreme waarde voor de representatieve belasting conform NEN 6702 $F_{momentaan}$ = momentane waarde voor de representatieve belasting conform NEN 6702 $F_{nominaal}$ = nominaal waarde van de bijzondere belasting			

Tabel B4.1
Rekenwaarden belastingen bij toepassing NEN 6700 serie

- 1) Geldig voor zowel de hoogwater kerende situatie als negatief verval, echter in geval van hoogwater is deze belastingfactor alleen binnen de grenzen van zijn geldigheidsgebied voldoende veilig. Voor de bepaling van het geldigheidsgebied en de bepaling van de belastingfactor (gedetailleerde methode) wordt verwezen naar de bijlage B4.4.4.1.
- 2) Niet toe te passen bij controle op onder- en achterloopsheid. In de rekenregels voor deze controle zijn onzekerheden reeds voldoende afgedekt waardoor kan worden uitgegaan van 1,0 (zie TR Zandmeevoerende Wellen). Drukverschillen t.g.v. golven worden niet meegenomen in de controle op onder- en achterloopsheid.
- 3) Ook toe te passen bij de controle op trillingen door stroming

Voor de wijze waarop de in de tabel vermelde belastingen moeten worden gecombineerd in te beschouwen belastingcombinaties kan worden aangesloten op de NEN 6702. Indien de dominante belasting een bijzondere belasting is worden dezelfde combinatiebelastingen gebruikt als in de tabel aangegeven echter met een belastingfactor van 1,0.

B4.4.3 Permanente belastingen

Permanente belastingen zijn belastingen die gedurende de referentieperiode slechts beperkt in grootte variëren, of belastingen waarvan de grootte tot een limiet nadert.

B4.4.3.1 Eigen gewicht

Een permanente belasting ten gevolge van het eigen gewicht wordt in rekening gebracht met een belastingfactor $\gamma = 1,35$ (belastend) als het eigen gewicht de enige belastingbron is, en er geen sprake is van een geotechnische constructie of het eigen gewicht van een vloeistof. Voor de permanente belasting door (permanente) vloeistofdruk mag een factor $\gamma = 1,2$ (belastend) worden aangehouden.

Indien de permanente belasting in combinatie met andere belastingen wordt beschouwd, wordt een factor $\gamma = 1,2$ (belastend) in rekening te worden gebracht. Indien de belasting gunstig (ontlastend) werkt, dient in alle genoemde gevallen een factor $\gamma = 0,9$ te worden gehanteerd.

Voor nadere informatie met betrekking tot de bepaling van de rekenwaarde van belastingen door eigen gewicht wordt verwezen naar NEN 6702.

B4.4.3.2 Gronddruk op geotechnische constructies

Voor de permanente belasting door gronddruk op geotechnische constructies als dijken, taluds en damwanden, waarbij het gewicht van de grond voorkomt als belasting, maar ook een rol speelt bij de grondmechanische sterkteberekeningen, moet de belastingfactor op $\gamma = 1,0$ (belastend en ontlastend) worden gesteld.

Van belang is dat zowel de eindsituatie als bouwfasen dienen te worden beschouwd. Voor nadere gegevens en berekeningen wordt verwezen naar de NEN 6740.

B4.4.3.3 Grondwaterdruk op geotechnische constructies

De grondwaterstand nabij waterkerende kunstwerken zal in de regel sterk variëren met de buitenwaterstand. In dat geval dienen grondwaterdrukken te worden opgevat als veranderlijke belastingen. Hiervoor wordt derhalve verwezen naar paragraaf B4.4.4.

B4.4.4 Veranderlijke belastingen

Veranderlijke belastingen zijn belastingen die gedurende de gehele referentieperiode niet altijd aanwezig zijn, of belastingen waarvan de verandering als functie van de tijd niet meer verwaarloosbaar klein is in vergelijking tot het gemiddelde.

B4.4.4.1 Drukverschillen ten gevolge van waterstanden

In tegenstelling tot hetgeen is beschreven in de NEN 6702, waarin vloeistofdrukken worden beschouwd als permanente belastingen, dienen belastingen door (grond)waterdrukken op waterkerende constructies te worden opgevat als veranderlijke belastingen. De in rekening te brengen representatieve belastingen en de belastingfactoren dienen zodanig te zijn dat zowel wordt voldaan aan de constructieve veiligheidseis volgens de NEN 6700 behorend bij veiligheidsklasse 3, alsmede aan de veiligheidseisen die door de TAW zijn vastgesteld.

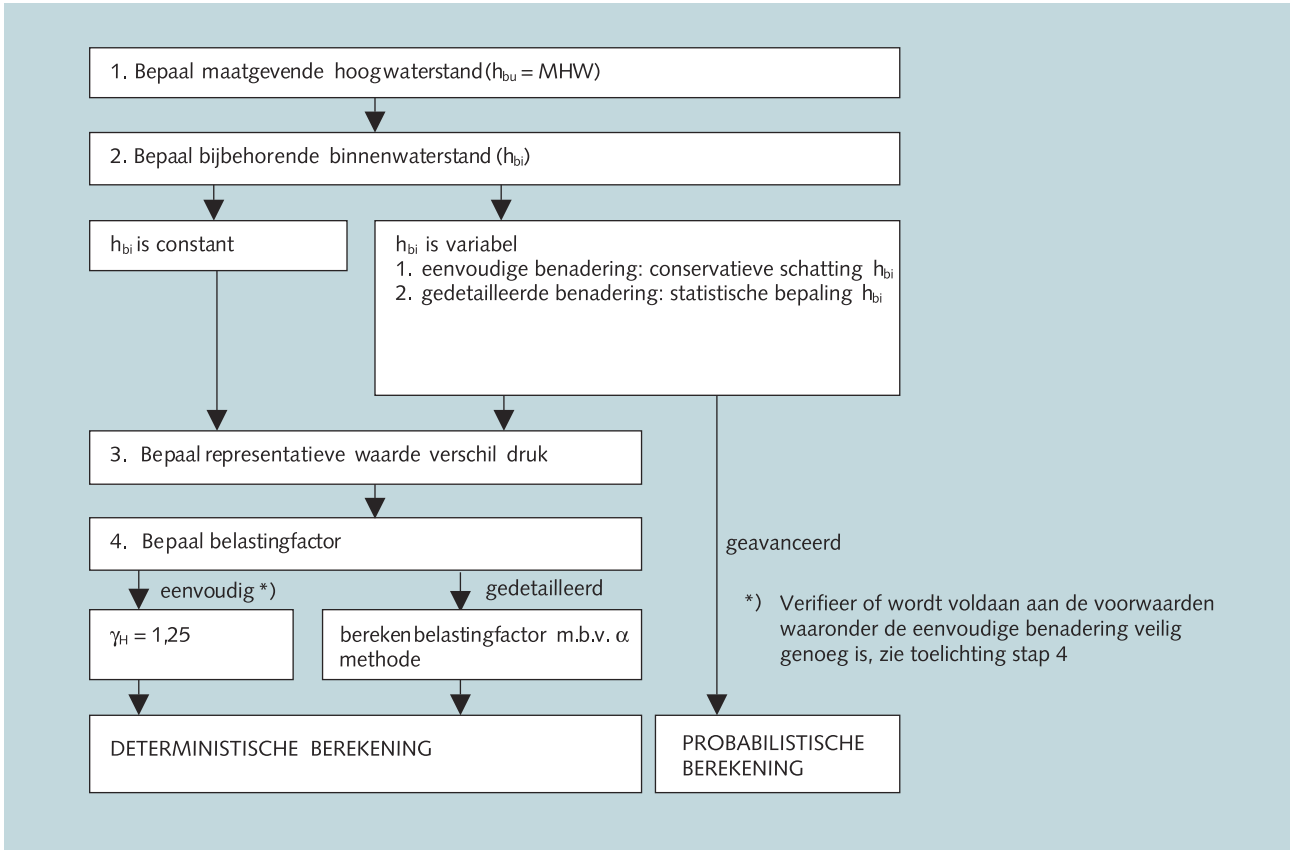
In het stroomschema in figuur B4.2 is de systematiek ter bepaling van de rekenwaarde van de in rekening te brengen belasting door waterdrukverschillen weergegeven. Daarbij is uitgegaan van de hoogwaterkerende situatie van het gesloten kunstwerk. Voor de kans op optreden van veel faalmechanismen, en daarmee de dimensionering van veel constructieonderdelen, is deze belastingsituatie met een (gesloten) kerende constructie en een extreem hoge buitenwaterstand maatgevend. Direct onder het schema zijn de verschillende stappen die daarin zijn onderscheiden toegelicht.

Voor bepaalde mechanismen kunnen echter de verschildrukken gedurende andere belastingsituaties maatgevend zijn. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld het opbarsten van de kolkvloer van een schutsluis. Voor dit mechanisme is mogelijk de belasting door de verschildruk over de kolkvloer in de onderhoudsfase maatgevend als de kolk geheel of gedeeltelijk is droog gezet. Een tweede voorbeeld betreft de sterkte en stabiliteit van bijzondere waterkerende constructies. Voor veel faalmechanismen van dit type constructies is de verschildruk bij extreem laag buitenwater maatgevend.

Voor de volledigheid wordt tenslotte opgemerkt dat de hier beschreven systematiek ook van toepassing is op damwandconstructies in de primaire waterkering, en derhalve de in 'CUR rapport 166' aangegeven wijze van berekenen van de rekenwaarde van (grond)waterdrukken vervangt.

Stap 1. Bepalen van MHW

In de kerende situatie dient voor de berekening van de representatieve waarde van de dominante belasting door waterdrukverschillen te worden uitgegaan van Maatgevend HoogWater (MHW) tegen de buitenzijde van de constructie. Voor de vaststelling van het MHW kan worden uitgegaan van het Randvoorwaardenboek 'Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen' [ref. B4.4]. Echter dit randvoorwaardenboek is pri-



mair gericht op het *toetsen* van dijken voor een 5-jaarlijkse periode en geeft een toetspeil. Voor het *ontwerpen* dienen deze waarden te worden gecorrigeerd in verband met de verwachte hoogwaterstijging in de planperiode. Aanwijzingen voor deze in rekening te brengen correctie zijn onder andere gegeven in hetzelfde randvoorwaardenboek.

Stap 2. Bepalen bijbehorende binnenwaterstand

De in rekening te brengen waterdruk tegen de binnenzijde van de constructie dient zodanig te worden bepaald dat de kans per jaar op overschrijding van de ontwerpwaarde van de verschillendrukken kleiner is dan de normfrequentie. Indien er sprake is van een sterk gereguleerd constant peil hoeft de binnenwaterstand niet als variabele te worden opgevat, en kan worden uitgegaan van dit constante peil. Indien er echter geen sprake is van een min of meer constant peil op het binnenwater, dan moet de bepaling van de waterdruk tegen de binnenzijde van de constructie in beginsel worden gebaseerd op een statistische analyse van de binnenwaterstanden. Daarbij moet, voor zover daar sprake van is, ook rekening worden gehouden met mogelijk aanwezige correlatie tussen de verdelingsfunctie van hoge buitenwaterstanden en de verdelingsfunctie lage binnenwaterstanden. Indien bij-

*Figuur B4.2
Bepaling rekenwaarde
dominante belasting
door waterstandsver-
schildrukken in de situ-
atie met gesloten kunst-
werk en maatgevend
hoog buitenwater*

voorbeeld het MHW sterk wordt bepaald door opwaaiing, dan zal aan de binnenzijde van het kunstwerk juist sprake zijn van afwaaiing. De verdelingsfuncties zijn in dat geval negatief gecorreleerd. Een procedure voor de statistische bepaling van de in rekening te brengen binnenwaterstand, en daarmee de ontwerpwaarde van het verval, is gegeven in appendix B4.1.

Indien onvoldoende gegevens voorhanden zijn met betrekking tot optredende binnenwaterstanden, is bepaling op basis van een statistische analyse niet mogelijk. In dat geval dient een veilige aanname te worden gedaan (d.w.z. een lage schatting van de binnenwaterstand in de MHW-situatie).

Stap 3. Bepalen van de representatieve waarde van de verschildruk

De representatieve waarde van de verschildruk wordt berekend op basis van het verschil tussen de maatgevende hoge (of lage) buitenwaterstand en de bijbehorende maatgevende binnenwaterstand.

Indien verschildrukken door grondwaterstanden moeten worden berekend, bijvoorbeeld ten behoeve van de controle van de sterkte en stabiliteit van een kolkwand in de MHW-situatie, dient eerst de respons van het grondwater bij MHW-omstandigheden te worden berekend. Aanwijzingen voor de berekening van de respons van grondwater op buitenwaterstanden zijn gegeven in onder meer de diverse handreikingen, leidraden en technische rapporten van de TAW, bijvoorbeeld het 'Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies' [ref. B4.5].

Stap 4. Bepalen van de belastingfactor

Voor de berekening van de rekenwaarde van de hydraulische belasting op constructieonderdelen bij maatgevend verval, dient de resulterende waterdruk bij MHW (of MLW) te worden vermenigvuldigd met een belastingfactor γ_H . De rekenwaarde van de maatgevende resulterende waterdruk p_d is derhalve als volgt gedefinieerd:

$$p_d = \gamma_H p_{MHW}$$

met: p_d = rekenwaarde resulterende waterdruk bij MHW-omstandigheden

γ_H = belastingfactor

p_{MHW} = resulterende waterdruk bij buitenwaterstand gelijk aan MHW

Eenvoudige methode

Als eenvoudige methode wordt aanbevolen conform tabel B4.1 uit te

gaan van een vaste waarde voor de belastingfactor γ_H van 1,25. Hierbij wordt opgemerkt dat bij toepassing van deze factor geen correctie van de materiaalfactoren meer hoeft te worden toegepast zoals beschreven in paragraaf B4.6, omdat deze correctie al in de factor 1,25 is verwerkt.

Uitgaande van een ontwerpfaalkans van het beschouwde faalmechanisme van 0,01 maal de normfrequentie wordt met deze waarde van de belastingfactor altijd een voldoende veilige benadering gevolgd, ongeacht de geldende normfrequentie en de frequentieverdeling van het verval over de constructie of het constructieonderdeel.

In bepaalde gevallen, wanneer een kleinere ontwerpfaalkans dan 0,01 maal de normfrequentie is vereist, kan de benadering echter niet veilig genoeg zijn. In dat geval dient te worden gecontroleerd of niet een hogere belastingfactor in rekening moet worden gebracht. Aanwijzingen voor het uitvoeren van deze controle zijn gegeven in appendix B4.2.

Voor de berekening van de combinatiewaarde van de resulterende waterdruk bij hoogwater omstandigheden kan dezelfde procedure worden gevolgd als hiervoor beschreven, met dien verstande dat in dat geval mag worden uitgegaan van de lagere buitenwaterstand dan MHW, namelijk de buitenwaterstand met een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld eens per 10 jaar. Hiervoor zijn geen waarden opgenomen in het Randvoorwaardenboek. In dit geval zal derhalve op een andere manier de in rekening te brengen buitenwaterstand moeten worden vastgesteld. Hiertoe wordt in de eerste plaats verwezen naar de beheerder. Indien daar de gewenste informatie niet kan worden verkregen kan advies worden gevraagd aan de Helpdesk Waterkeren van Rijkswaterstaat DWW (015 - 25118450).

Gedetailleerde methode

De gedetailleerde methode voor de bepaling van de belastingfactor kan worden gebruikt om de volgende twee redenen:

1. De ontwerpfaalkans van het beschouwde constructieonderdeel is kleiner dan 0,01 maal de normfrequentie, als gevolg waarvan de waarde 1,25 niet meer veilig genoeg blijkt te zijn.
2. Het is gewenst te onderzoeken of de ontwerpberekening van een constructieonderdeel scherper kan door middel van een mogelijke verlaging van de belastingfactor.

De formule waarmee de belastingfactor (uitgaande van een Gumbel verdeeld waterstandsverschil over de constructie of het beschouwde con-

structieonderdeel) kan worden berekend luidt:

$$v_H(\eta_N, f_N, u, B) = \frac{u - \text{Blog}(A(\zeta_S \eta_N)/f_N)}{u \cdot 4 \text{Blog}(\text{norm})} e^{(\zeta_R(\eta_N 4^{3,6})) \sqrt{\ln(12 V_R^2)}}$$

Voor een toelichting op deze formule wordt verwezen appendix B4.2 en naar de 'Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen' [ref. B4.6].

Voor de gedetailleerde berekening van de combinatiewaarde van de resulterende waterdruk bij hoogwater omstandigheden wordt wederom uitgegaan van het verval bij de buitenwaterstand met een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld eens per 10 jaar. De aan te houden belastingfactor is dan dezelfde als is berekend voor de dominante vervalbelasting.

Tot slot wordt opgemerkt dat voor de controle van een waterkerende constructie op piping ook gebruik wordt gemaakt van het verval bij MHW. Voor de wijze waarop op piping wordt gecontroleerd wordt verwezen naar het 'Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen'. Omdat in de pipingformules zelf al een zekere mate van veiligheid aanwezig is, wordt voor pipingcontrole volgens de methoden Bligh en Lane in de praktijk uitgegaan van een belastingfactor met waarde 1,0 ongeacht de vereiste veiligheid. Voor de methode Sellmeijer wordt uitgegaan van een belastingfactor van 1,2 eveneens ongeacht de vereiste veiligheid.

B4.4.4.2 Windgolven

Waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies kunnen worden belast door windgolven. De berekening hiervan kan vrij ingewikkeld zijn. Om die reden wordt de berekening van de representatieve waarde van de belasting door windgolven apart behandeld in bijlage B5 'Golfbelasting op een verticale wand'.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de belasting door windgolven dient de representatieve waarde van de golfbelasting te worden vermenigvuldigd met een belastingfactor γ_{golf} .

Voorts is van belang op te merken dat met name aan de kust en in het benedenrivierengebied er veelal sprake zal zijn van een sterke correlatie tussen het optreden van maatgevend hoogwater en het optreden van de maatgevende windgolf. In dat geval dienen beide belastingen tegelijkertijd als dominante belasting te worden opgevat, zie ook paragraaf B4.5.

Eenvoudige methode

In eerste benadering wordt aanbevolen uit te gaan van een vaste waarde voor de belastingfactor γ_{golf} van 1,25. In de regel wordt hiermee een voldoende veilige benadering gevolgd.

Gedetailleerde methode

Ook deze belastingfactor kan desgewenst nauwkeuriger worden berekend. Hiervoor dient te worden beschikt over de inschatting van twee verschillende extreme waarden van de significante golfhoogte en de bijbehorende overschrijdingsfrequentie daarvan. Bij voorkeur dient een van de extreme waarden de ontwerp golfhoogte te betreffen, en in ieder geval dienen de overschrijdingsfrequenties van beide extreme waarden kleiner te zijn dan 0,1 per jaar. De wijze van berekening verloopt dan analoog aan de berekening van de belastingfactor voor waterstandsverschillen zoals beschreven in appendix B4.2.

B4.4.4.3 Stroming

In deze paragraaf worden de stromingen als gevolg van een verval over het kunstwerk behandeld, gegeven het normaal dagelijks functioneren van het kunstwerk. Stromingen als gevolg van schepen zijn behandeld in paragraaf B4.4.4.5. Stromingen als gevolg van een verval over de kering in de situatie dat deze gesloten had moeten zijn (na falende sluiting) worden beschouwd als bijzondere belasting. Deze stromingsbelasting wordt separaat behandeld in paragraaf B4.4.5.5.

De belasting door stroming is gekoppeld aan de stroomsnelheid. Stromingsbelastingen treden op zowel tijdens het geopend zijn van de kering, het sluiten van de kering, als ook in de kerende situatie bij lekspleten en overlopen. Het gaat hierbij om de belasting op de bodembescherming alsmede die op schuiven en deuren. Overigens moeten trillingen door stroming zoveel als mogelijk worden voorkomen. Met name teruggekoppelde trillingen (vloeistof - constructie interactie) kunnen leiden tot zeer snel toenemende belastingen op schuiven en deuren en op bewegingswerken.

De representatieve waarde van de dominante belasting wordt berekend als de stroomsnelheid die gemiddeld eens per 50 jaar wordt overschreden. De representatieve waarde van de combinatiebelasting als de stroomsnelheid die gemiddeld eens per 1 jaar wordt overschreden.

Voor de bepaling van deze representatieve stroomsnelheden dient te worden beschikt over (statistische) gegevens met betrekking tot optre-

dende binnen- en buitenwaterstanden, alsmede uitgangspunten ten aanzien van de buitenwaterstand of het verval waarbij het kunstwerk wordt gesloten. Op basis daarvan kan de ontwerpwaarde van het verval over het geopende kunstwerk worden vastgesteld. De representatieve waarde van stroomsnelheden volgt vervolgens uit vloeistofmechanische berekeningen. Aanwijzingen voor de berekening van de stroomsnelheden zijn onder meer gegeven in de Bouwdienst-publicatie 'Handleiding voor het Ontwerpen van granulaire Bodemverdedigingen' [lit B4.7]. Indien statistische gegevens betreffende optredende binnen- en buitenwaterstanden ontbreken, wordt een veilige benadering gevolgd door uit te gaan van het maximale verval dat nog over het geopende kunstwerk mag staan. Uitgaande van de eenvoudige benadering voor de controle van de betrouwbaarheid van de sluiting is dit derhalve het verval bij Open KeerPeil (OKP).

Tot slot wordt opgemerkt dat bij de bepaling van de kerende hoogte van het gesloten kunstwerk een groot overloopdebiet toelaatbaar is mits dit in het achterliggende systeem geborgen kan worden. Indien er sprake is van een groot toelaatbaar overloopdebiet, dan dient ook de maatgevende stromingsbelasting van het gesloten kunstwerk te worden onderzocht op het mogelijk maatgevend zijn voor de dimensionering van constructieonderdelen.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de stromingsbelasting dient conform tabel B4.1 een belastingfactor van 1,3 in rekening te worden gebracht.

B4.4.4.4 Scheepsgolf

Nadat de ontwerphoogte van de door passerende schepen veroorzaakte golf is vastgesteld, kan op dezelfde wijze als voor windgolven de daardoor veroorzaakte representatieve belasting op de constructie worden berekend. Voor de berekening van de belasting door golven wordt verwezen naar bijlage B5.

De rekenwaarde van de belasting door scheepsgolven wordt berekend na vermenigvuldiging met de belastingfactor. In tabel 4.1 is hiervoor een waarde van 1,3 gegeven voor zowel de dominante belasting als de combinatiebelasting.

B4.4.4.5 Scheepsstroming

Voor wat betreft door schepen veroorzaakte stromingen zijn twee typen te onderscheiden, namelijk de retourstroom en de schroefstraalstroom. Beiden worden uitgedrukt als stroomsnelheden. Voor de berekening van

deze stromingen wordt verwezen naar de Bouwdienst-publicaties 'Ontwerp van Schutsluizen' en de 'Handleiding voor het Ontwerp van granulaire Bodemverdedigingen'. De aldus berekende stroomsnelheden kunnen worden beschouwd als rekenwaarde voor zowel de dominante als combinatiebelasting.

B4.4.4.6 Troskrachten en scheepsstoten

De troskrachten van schepen leveren via bolders mogelijk een belasting op waterkerende kunstwerken. Indien het (lokaal) bezwijken van het kunstwerk als gevolg van bolderkrachten de waterkerende functie van het kunstwerk in gevaar kan brengen, dient in het ontwerp van de constructie op bolderkrachten ook met de waterkerende veiligheid rekening te worden gehouden.

De troskrachten worden met name bepaald door de grootte van het schip, waterstroming en windbelasting. In 'CUR rapport 166' zijn voor zowel zeeschepen als voor binnenvaartschepen rekenwaarden voor bolderkrachten gegeven als functie van een maat voor de scheepsgrootte (voor zeeschepen de waterverplaatsing en voor binnenvaartschepen de scheepsklasse). In dit rapport is tevens aangegeven hoe de belasting uit scheepsstoten in rekening kan worden gebracht.

B4.4.4.7 Windbelasting

De berekening van de representatieve waarde van windbelasting door winddruk, windzuiging en over- en onderdruk vindt plaats volgens NEN 6702.

B4.4.4.8 Temperatuurbelasting

De belasting ten gevolge van temperatuurverschillen dient te worden berekend volgens NEN 6702 en NEN 6788. Opgemerkt wordt dat de belastingfactor voor de temperatuurbelasting moet worden vermenigvuldigd met het belastingeffect en niet met de temperatuur zelf.

B4.4.4.9 Verkeersbelasting

Voor de verkeersbelasting kan in beginsel worden uitgegaan van een minimale gelijkmatig verdeelde belasting met een rekenwaarde van 13,3 kN/m² op een (rij)strook met een breedte van 2,50 m. Aanvullend dient wel gecontroleerd te worden of in onderhoudssituaties deze waarde niet overschreden zal worden. Gedacht wordt hierbij aan bijvoorbeeld de verkeersbelasting van een kraan in geval van deurwisseling van een sluis.

B4.4.5 Bijzondere belastingen

Calamiteiten zijn gebeurtenissen die met een relatief kleine kans kunnen

voorkomen en direct of indirect leiden tot het optreden van bijzondere belastingen. Indien de kans op een calamiteit voldoende klein is (kleiner dan de toelaatbare kans op constructief bezwijken van het kunstwerk van orde grootte 1/100 maal de normfrequentie) hoeft er met deze bijzondere belastingen niet expliciet rekening te worden gehouden. Indien dit niet het geval is, dient hier bij de controle van de kans op constructief bezwijken wel rekening mee te worden gehouden. In deze paragraaf is nader op de bepaling van de ontwerpwaarde van bijzondere belastingen ingegaan.

B4.4.5.1 Aanvaring

De kans op overstroming van het gebied achter een waterkerend kunstwerk ten gevolge van een aanvaring is opgebouwd uit de combinatie van de volgende drie componenten:

- verdeling van de overschrijdingskansen van aanvaarbeastingen;
- effect van een zekere aanvaarbeasting op het waterkerend vermogen van het kunstwerk;
- kans op overstroming gegeven een aanvaring die het waterkerend vermogen van het kunstwerk heeft aangetast.

Gecontroleerd dient te worden of de kans op overstroming ten gevolge van een aanvaring voldoende klein is. Hiertoe wordt de nominale waarde van de aanvaarbeasting bepaald. Dit is de ontwerpwaarde van de aanvaarbeasting die de constructie nog moet kunnen opnemen zonder het waterkerend vermogen te verliezen. Een zeer veilige benadering wordt gevolgd als ervan uit wordt gegaan dat verlies van waterkerend vermogen altijd leidt tot overstroming. In dat geval wordt de nominale waarde van de aanvaarbeasting bepaald als de aanvaarbeasting die met een gemiddelde kans per jaar van 0,01 maal de normfrequentie wordt overschreden.

Aanknopingspunten voor de bepaling van de kans op aanvaarbeastingen op keermiddelen zijn gegeven in WL-rapport 'Aanvaarrisico's voor Sluisdeuren' [ref. B4.8]. In algemene zin wordt opgemerkt dat bij de beschouwing van aanvaarbeastingen wordt uitgegaan van de op te nemen bewegingsenergie van het schip. Deze wordt in belangrijke mate bepaald door de massa en vaarsnelheid van de maatgevende scheepsklasse, en de mogelijke hoek waaronder de constructie door schepen kan worden aangevaren. Daaruit volgt dat de lay-out van de constructie een belangrijke bepalende factor is voor de overschrijdingskansen van aanvaarbeastingen. Voorts kan worden gedacht aan mogelijke preventieve maatregelen in de vorm van bijvoorbeeld een aanvaarbeasting.

Het effect van een aanvaring van zekere zwaarte op het waterkerend vermogen van het kunstwerk kan door middel van (constructieve) berekeningen worden vastgesteld. Het type keermiddel is in het algemeen van grote invloed op het effect van een aanvaring. Zo zijn bijvoorbeeld negatief kerende puntdeuren veel kwetsbaarder dan positief kerende puntdeuren.

De kans op een overstroming, gegeven het kapot gevaren zijn van keermiddelen, hangt vervolgens weer sterk af van de waterstanden die toevallig op het moment van aanvaren en de herstelperiode daarna aanwezig zijn. Deze kans kan worden berekend op basis van een analyse van de overschrijdingsduur van buitenwaterstanden die bij geopend kunstwerk tot een overstroming van het achterliggend gebied zouden leiden.

Aandachtspunten hierbij zijn:

- de kans op aanwezigheid van schepen met een zekere massa als functie van de waterstand; bij extreme condities zullen in de regel schepen op veilige afstand van het kunstwerk worden gehouden;
- de benodigde tijd om het waterkerend element van het kunstwerk te repareren of vervangen.

B4.4.5.2 Aardbeving

In de NEN6700 serie worden met name voor gebouwen rekenregels gegeven voor belastingen als gevolg van aardbevingen. In Nederland worden kunstwerken in de regel niet ontworpen op deze belastingen.

B4.4.5.3 Explosie

Voor explosie belastingen in gesloten ruimten wordt verwezen naar NEN 6702. Deze kan echter niet voor tunnels worden toegepast omdat hiervoor zwaardere eisen gelden. Uitgangspunt voor tunnels zonder kanteldijken is dat vervoer van gevaarlijke stoffen door deze tunnels niet is toegestaan, zodat tunnels niet op explosiebelasting hoeven te worden berekend.

Voor nadere informatie ten aanzien van de explosiebelasting in tunnels wordt verwezen naar 'Explosiebelasting in tunnels' [ref. B4.9].

B4.4.5.4 IJs

Volgens NEN6740 hoeven golfbelasting en ijsbelasting bij kerende wanden aan open water niet gelijktijdig in rekening te worden gebracht. Indien relevant, moeten voor de benadering van de ijsbelasting de volgende situaties zijn onderzocht:

- kruiend ijs;
- drijvende ijsvlakte.

Het onderzoek mag achterwege blijven indien er voor zorg wordt gedragen dat maatregelen zijn genomen waardoor deze ijsbelastingen niet zullen optreden, zie 'Ontwerp van Schutsluizen' [ref. B4.10].

De waarden van ijsbelastingen kunnen bepaald worden conform 'CUR rapport 166'. Hierin wordt voor de bepaling van de horizontale ijsbelasting op damwanden uitgegaan van een ijslaag van 0,5 m dik en een druksterkte van 1,5 MPa voor zout water of 2,5 MPa voor zoet water. Omdat deze belasting over het contactvlak zal variëren tussen 0 en de druksterkte, mag op de berekende lijnbelasting een uitvlakkingscoëfficiënt van 0,33 worden toegepast. Deze waarden kunnen als rekenwaarden worden beschouwd.

Er moet tenminste worden gerekend met:

- een gemiddelde horizontaal werkende lijnlast van 250 kN/m (zout water) of 400 kN/m (zoet water), aangenomen ter plaatse van de ongunstigste in beschouwing genomen waterstand;
- een plaatselijk aangrijpende belasting van 1,5 MN voor sterkteberekening van constructiedetails indien ze door ijs kunnen worden belast.

In getijdegebieden, waar tengevolge van waterstandsverschillen ijsschotten ontstaan, mag met een lijnlast van 100 kN/m worden gerekend. In getijdegebieden moet eventueel ook met verticale ijsbelastingen rekening worden gehouden.

B4.4.5.5 Stroming in geval van 'niet sluiten'

In het geval van falen van de hoogwater sluitprocedure kunnen hoge stroomsnelheden door het kunstwerk leiden tot schade aan de bodembescherming en daarmee uiteindelijk tot ondermijning en constructief bezwijken van het kunstwerk.

Indien de frequentie van voorkomen van een falende hoogwater sluitprocedure lager is dan 0,01 x norm hoeft deze situatie niet te worden beschouwd. In andere gevallen kan voor de berekening van de representatieve waarde van de stromingsbelasting ten gevolge van niet sluiten in eerste benadering worden uitgegaan van een verval bij MHW en een belastingfactor gelijk aan 1,0.

Voor sommige kunstwerken zal deze benadering aan de zeer veilige kant zijn. Via een meer gedetailleerde analyse kan dan een lagere representatieve waarde van de stromingsbelasting worden bepaald zodanig dat de gecombineerde kans op niet sluiten en overschrijding van deze representatieve waarde van de stromingsbelasting voldoet aan de genoemde con-

structieve eis. Op de aldus bepaalde representatieve waarde van de stromingsbelasting dient een belastingfactor van 1,3 in rekening te worden gebracht.

B4.4.6 Limitatie veranderlijke belastingen

Veranderlijke of bijzondere belastingen kunnen preventief worden beperkt door constructies 'naast' het kunstwerk en door gebruiksbeperkingen van het kunstwerk, die de maatgevende belasting op het kunstwerk verkleinen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- een remmingswerk of aanvaarbescherming ter beperking van aanvaarbelastingen;
- limitatie van de maximaal opneembare troskracht door bolders;
- het hanteren van een maximum schutpeil waardoor de kans op aanvaring van keermiddelen onder kritieke omstandigheden wordt beperkt;
- het limiteren van de maximaal toelaatbare verkeersbelasting (tot bijvoorbeeld een kraan van maximaal 20 ton bij calamiteiten).

Limitatie van veranderlijke of bijzondere belastingen door middel van gebruiksbeperkingen vormen een belangrijk uitgangspunt voor het waarborgen van de waterkerende veiligheid van het ontwerp. Derhalve dient deze informatie opgenomen te worden in het informatieblad van het ontwerp (zie paragraaf B1.5).

B4.5 Belastingcombinaties

Een belastingcombinatie is een verzameling van verschillende vrije belastingen, belastinggevallen en/of belastingconfiguraties, die gelijktijdig kunnen optreden. Alle mogelijk maatgevende belastingcombinaties dienen te worden gecontroleerd, zoals beschreven in NEN 6702.

De ontwerper behoort dus in beginsel alle gedurende de levensduur van de constructie mogelijk voorkomende belastingcombinaties te inventariseren en te controleren of deze maatgevend zijn voor het ontwerp van een onderdeel. Voor de dagelijkse ontwerp praktijk is dit echter veel te bewerkelijk en ook niet nodig. In de regel zal op basis van ervaring al snel duidelijk zijn welke belastingcombinatie maatgevend is.

Een drietal bijzondere aandachtspunten zijn de volgende:

1. Bepaalde belastingen sluiten elkaar uit en hoeven daarmee niet gecombineerd te worden. Een voorbeeld hiervan is de combinatie van sterke stroming waarbij geen scheepvaart meer mogelijk is met stro-

- mingen ten gevolge van passerende scheepvaart.
2. In geval van correlatie tussen hoogwater en windgolven via wind moeten beiden gelijktijdig als dominant worden beschouwd.
 3. Op de opwaartse grondwaterdrukken onder een kunstwerk, welke samenhangen met de buitenwaterstand, hoeft niet een belastingfactor van 1,25 te worden toegepast, maar mag worden uitgegaan van 1,0.

B4.6 Sterkte

B4.6.1 Correctie op de materiaalfactor

Voor het ontwerp van constructies in primaire waterkeringen wordt voor de materiaalfactoren verwezen naar de materiaalfactoren uit de NEN 6700-serie. Indien de betrouwbaarheidseis strenger is dan de TGB-betrouwbaarheid van $\beta_N = 3,6$ waarop de materiaalfactoren in de NEN 6700-serie zijn afgestemd, dan dienen deze verhoogd te worden door middel van vermenigvuldiging met een correctiefactor $\gamma_{m,corr}$.

Deze correctiefactor kan worden berekend met de volgende uitdrukking:

$$\gamma_{m,corr} = e^{(\zeta_R(\eta_N 43,6))\sqrt{\ln(12 V_R^2)}}$$

met: $\gamma_{m,corr}$ = correctiefactor op de materiaalfactor

α_R = invloedsfactor voor de onzekerheid van de sterkte = 0,8

β_N = betrouwbaarheidsindex voor de referentieperiode (met minimum waarde van 3,6)

V_R = variatiecoëfficiënt van de sterkte (zie tabel B4.2)

Tabel B4.2

Veilige waarden van de variatiecoëfficiënt van de sterkte

Materiaal	staal	beton	hout	fundering	metselwerk
Variatiecoëfficiënt	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

B4.6.2 Uitzonderingen

In een aantal uitzonderingsgevallen (voor $\beta_N > 3,6$) wordt de materiaalfactor echter niet gecorrigeerd:

1. Maatgevend hoogwater (MHW).
2. Glijvlakstabiliteit waterkerende grondconstructies.
3. Damwandconstructies.
4. Controle onder- en achterloopsheid.

ad 1. Maatgevend hoogwater

Voor de vervaldrukken bij MHW geldt in beginsel een belastingfactor van $\gamma_H = 1,25$ (bij toepassing van de eenvoudige methode). In deze factor is de correctie voor de materiaalfactor al verdisconteerd.

Indien de vereiste betrouwbaarheid groter is dan het betrouwbaarheidsniveau behorend bij deze factor, dan dient deze belastingfactor te worden aangepast met behulp van de formule die is beschreven in paragraaf B4.4.4.1 (gedetailleerde methode). Ook in deze formule is de correctie van de sterktefactor al direct meegenomen en wordt deze dus verdisconteerd in de belastingfactor.

ad 2. Glijvlakstabiliteit waterkerende grondconstructies

Voor glijvlakberekeningen van waterkerende grondconstructies kan zonder correctie gebruik worden gemaakt van de materiaalfactoren uit het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies en schuifsterkteparameters uit een proevenverzameling. De reden voor deze afwijkende aanpak is dat in de in dit Technisch Rapport gegeven ontwerpeis voor de stabiliteit van waterkerende grondconstructies, de van de normstelling afgeleide betrouwbaarheidseis reeds is verwerkt.

Indien niet wordt beschikt over schuifsterkteparameters uit een proevenverzameling, kan gebruik worden gemaakt van de representatieve waarden uit de NEN 6740 in combinatie met de materiaalfactoren uit de NEN 6740. Omdat echter er van uit moet worden gegaan dat gebruik van deze waarden leidt tot een betrouwbaarheidsindex β_N van 3,6 conform de hoogste veiligheidsklasse uit de NEN, dient een hogere vereiste veiligheid te worden verdisconteerd door een correctiefactor op de materiaalfactoren te berekenen volgens de formule in paragraaf B4.6.1.

Daarbij kan worden uitgegaan van een veilige waarde van de variatiecoëfficiënt V_R van 0,2.

ad 3. Damwandconstructies

Voor damwandconstructies wordt verwezen naar 'CUR rapport 166'.

Hierin worden al van de NEN afwijkende veiligheidsniveau's en corresponderende partiële factoren geïntroduceerd. De vermelde betrouwbaarheidsindex voor de hoogste veiligheidsklasse heeft een waarde van $\beta_N = 4,2$ waarbij is aangegeven dat deze waarde aansluit op het vereiste veiligheidsniveau voor primaire waterkeringen.

Indien er een hogere betrouwbaarheidsindex moet worden gehaald kan een correctiefactor op de materiaalfactoren behorend bij de hoogste veiligheidsklasse worden berekend met behulp van de formule in paragraaf B4.6.1. In dat geval dient wel de NEN drempelwaarde van de betrouwbaarheidsindex van 3,6 te worden vervangen door de drempelwaarde

4,2. Voor de variatiecoëfficiënt V_R kan wederom worden uitgegaan van een veilige waarde van 0,2.

ad 4. Controle onder- en achterloopsheid

Bij de controle op onder- en achterloopsheid is geen correctie van de materiaalfactor benodigd. Voor de achtergronden bij deze controle wordt verwezen naar het 'Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen'.

In aanvulling op hetgeen hiervoor is vermeld wordt opgemerkt, dat het kan voorkomen dat de bevoegde instantie zelf strengere betrouwbaarheidseisen en daarvan afgeleide partiële factoren voorschrijft.

B4.6.3 Vermoeiing

Constructies zullen in het algemeen bezwijken onder invloed van een belasting die de statische sterkte van de constructie te boven gaat. Daarnaast kunnen constructies bezwijken onder invloed van een belasting die de statische sterkte niet te boven gaat, maar wel herhaaldelijk optreedt (een variabele belasting zoals door golven). In het algemeen moet daarbij gedacht worden aan een aantal belastingwisselingen dat ruwweg ligt tussen duizend en enkele miljoenen in de levensduur.

Bij waterbouwkundige constructies kan schade door vermoeiing ontstaan aan met name deuren en schuiven, en daarmee samenhangend aan de bewegingswerken daarvan. Dit als gevolg van belastingen door windgolven of trillingen door het stromende water. Belastingen door windgolven kunnen worden beperkt door bijvoorbeeld afscherming van de voorhavens. Belastingen door golfklappen kunnen worden voorkomen door maatregelen qua geometrie, bijvoorbeeld schuifconstructie zonder ingesloten hoeken. Trillingen door stroming moeten ook zoveel mogelijk worden voorkomen door bijvoorbeeld de geometrie van schuifranden juist te kiezen. Nadere informatie is te vinden in bijvoorbeeld 'Dynamisch gedrag van waterbouwkundige constructies' [ref. B4.11].

Om te beoordelen of een constructie al dan niet zal bezwijken onder een variabele belasting zijn de volgende aspecten van belang:

- de aard van de belastingwisselingen. Zo doorstaat een constructie in het algemeen beter een variabele belasting waarbij de belastingrichting niet van teken omkeert (een zo genoemde sprongbelasting) dan een waarbij dat wel het geval is (een wisselende belasting). Overigens geldt dit niet voor staalconstructies;
- het aantal belastingwisselingen. Vermoeiingsschade kan al bij kleine aantallen wisselingen (≥ 1000) optreden, maar leidt dan niet meteen

tot bezwijken. Verder blijkt dat als een constructie enkele miljoenen belastingwisselingen kan doorstaan, er bij gelijkblijvende condities, geen gevaar dreigt alsnog door vermoeiing te bezwijken;

- de belastingen kunnen zijn druk, trek, afschuiving, buiging, wringing of combinaties daarvan. Van belang is de amplitude van de belastingwisselingen: hoe kleiner de amplitude, des te kleiner de kans op vermoeiing;
- het materiaal en de vormgeving van de constructie. De vormgeving en de oppervlaktegesteldheid kunnen aanleiding geven tot spanningsconcentraties: plaatsen in de constructie waar veel hogere spanningen optreden dan de gemiddeld in de constructie aanwezige spanning. Scherpe doorsnedeovergangen in constructies, bepaalde typen lassen etc. zijn, in samenhang met variabele belastingen, plaatsen waar de constructie als gevolg van vermoeiing kan bezwijken.

Het bezwijken als gevolg van vermoeiing is een groeiproces. Vanuit microscheuren, die vaak reeds na weinig belastingwisselingen aanwezig zijn op plaatsen met hoge spanningsconcentraties, groeit onder invloed van de wisselende belasting een scheur, die op een gegeven moment zo groot is dat het onderdeel onder de aanwezige belasting bezwijkt. Een vermoeiingsbreuk is dan ook veelal te herkennen aan een gedeelte met een regelmatig scheurgroei patroon en een gedeelte met een ruw breukvlak, dat is ontstaan, toen de resterende doorsnede niet sterk genoeg meer was en de constructie het in één keer begaf.

Gelaste staalconstructies en werktuigkundige onderdelen staan bekend om hun gevoeligheid voor vermoeiing (al geldt hetzelfde voor lichte betonconstructies van hoge sterkte beton). Staalconstructies in waterbouwkundige werken, zoals schuiven en sluisdeuren worden o.a. belast door verval, wind, golven en mogelijk trillingen door stroming. Voor wat betreft de belasting door golven geldt dat als het aandeel van de golven relatief klein is ten opzichte van de vervalbelasting, alleen details gevoelig zijn voor de golfbelasting maar de hoofddraagconstructie niet of nauwelijks. Hoe kleiner echter de vervalbelasting, des te groter de relatieve invloed van de golfbelasting en daarmee de kans op het optreden van vermoeiing. Met golfperioden van 4 tot 10 seconden loopt het aantal belastingwisselingen al snel in de vele honderdduizenden gedurende de levensduur (i.h.a. aangenomen op 50 tot 80 jaar). Dergelijke constructies moeten daarom op vermoeiing worden gedimensioneerd. Ook moet met het oog op golfbelastingen worden gelet op stoten op de geleiding van schuiven als gevolg van speling van schuiven ten opzichte van de schuifgeleiding.

Gelaste staalconstructies moeten voldoen aan de eisen en randvoorwaarden die in paragraaf 13.4 van NEN 6770 : 1991 en 11.2 van NEN 6772 : 1992 zijn gesteld. Voor de toetsing van gelaste verbindingen en doorsneden, waarvan het vermoeiingsgedrag is bepaald door lassen, geldt NEN 2063: 1988 'Booglassen - Op vermoeiing belaste constructies - Het berekenen van gelaste verbindingen in ongelegeerd en zwakgelegeerd staal tot en met Fe 510 (Fe 52)'. De in rekening te brengen belastingen en belastingcombinaties worden aangegeven in het handboek 'Ontwerp van Schutsluizen'.

Bewegingswerken worden, behalve op statische sterkte, altijd op vermoeiing gedimensioneerd. Het aantal belastingwisselingen, vooral van sneldraaiende assen, is bij een aangenomen levensduur van 50 jaar zeer groot. Aandrijfassen worden wisselend belast op buiging, wringing en afschuiving, terwijl er bovendien ter plaatse van diameterovergangen, spieën en klemverbindingen sprake is van spanningsconcentraties, waarvoor kerffactoren in rekening worden gebracht. Loopvlakken van wielen en tandflanken bij tandwielen bezwijken of worden onbruikbaar door oppervlaktevermoeiing t.g.v. hoge vlaktedrukken. Schuiven (met eventueel wielen) kunnen bij weinig verval als gevolg van windgolven tegen hun geleiderails stoten, tenzij er een afdrukrichting aanwezig is of de schuiven voorgespannen in hun geleiding zijn.

Werktuigkundige onderdelen worden t.a.v. de statische sterkte en op vermoeiing berekend op basis van de NEN 6786 (VOBB-1998): 'Voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen'. De in rekening te brengen belastingen en belastingcombinaties worden aangegeven in het handboek 'Ontwerp van Schutsluizen'.

B4.6.4 Sterktedegradatie

Verouderingsprocessen kunnen de sterkte van onderdelen gedurende de levensduur van het kunstwerk achteruit doen gaan. Met name corrosie van stalen onderdelen is een belangrijk verouderingsproces. Omdat het kunstwerk ook aan het eind van zijn ontwerplevensduur nog aan de veiligheidseisen moet voldoen dient met name voor moeilijk vervangbare stalen onderdelen hier in het ontwerp nadrukkelijk rekening mee te worden gehouden. Gangbare methoden waarop dit gebeurt zijn het gebruik van een conservering (corrosiewerende coating), kathodische bescherming en het dimensioneren met een zekere overdikte voor afroesting. De corrosiesnelheid kan afhankelijk van milieu en staalkwaliteit sterk variëren. Een eerste indicatie kan worden ontleend aan 'CUR rapport 166'.

Referenties B4

- B4.1 Technisch Rapport Kistdammen en Diepwanden
- B4.2 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999 (groene versie)
- B4.3 CUR rapport 166 (Damwandconstructies), Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, 1994
- B4.4 Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- B4.5 Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2001
- B4.6 Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen (Veilkunwat)
- B4.7 Handleiding voor het Ontwerpen van granulaire Bodemverdedigingen
- B4.8 Aanvaarsico's voor Sluisdeuren, Waterloopkundig LaboratoriumIWL, rapportnr. Q1399, 1992
- B4.9 Explosiebelasting in tunnels, TNO-rapport 1999-CON-DYN-R0038, 1999
- B4.10 Ontwerp van Schutsluizen, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 2000
- B4.11 Dynamisch gedrag van waterbouwkundige constructies, P.A. Kolkman en T.H.G. Jongeling, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 1996

Appendix B4.1 Berekening maatgevend verval over het gesloten kunstwerk

Ten behoeve van de bepaling van de in rekening te brengen waterstandsverschillen voor de situaties hoogwater en negatief keren dienen de extreem hoge buitenwaterstand en de extreem lage buitenwaterstanden te worden gecombineerd met een lage respectievelijk hoge bijbehorende binnenwaterstand.

De in rekening te brengen binnenwaterstand dient te worden vastgesteld als de waterstand bij het verval dat met een frequentie gelijk aan de normfrequentie wordt overschreden (voor de hoogwater situatie) of als de waterstand bij het verval dat met een kans van 5% in de levensduur wordt overschreden (voor de laagwater situatie). Voor de correcte vaststelling van de binnenwaterstand is informatie benodigd betreffende de kansverdelingsfunctie van de optredende binnenwaterstand en de samenhang tussen de binnen- en buitenwaterstand. Indien deze informatie niet voorhanden is moet een veilige aanname worden gedaan.

In het kader van de ontwikkeling van de Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen (Veilkunwat) is een rekenprocedure ontwikkeld voor de bepaling van de binnenwaterstand. Hiervoor zijn de volgende gegevens benodigd:

- gegevens buitenwaterstand: MHW of MLW, norm- of ontwerprequentie, decimeringshoogte (B);
- gegevens binnenwaterstand: verwachtingswaarde, standaardafwijking, correlatiecoëfficiënt tussen buiten- en binnenwaterstand.

Hoog buitenwater

De verwachtingswaarde van de extreme hoogwaterstand van het buitenwater volgt uit:

$$E\{h_{bu}\} = MHW - t \cdot \sigma_{hbu}$$

met: $E\{h_{bu}\}$ = de verwachtingswaarde van buitenwaterstand volgens de vervangende normale verdeling

t = met de norm (overschrijdingsfrequentie MHW) corresponderende standaard normale t-waarde:

norm	t-waarde
1/1250 per jaar	3,16
1/2000 per jaar	3,31
1/4000 per jaar	3,50
1/10.000 per jaar	3,73

σ_{hbu} = standaardafwijking van de buitenwaterstand volgens de vervangende normale verdeling, te berekenen met de volgende formule:

$$\sigma_{hbu} = \frac{e^{40.5 t^2}}{\text{norm} (1.4 \text{ norm}) \sqrt{2\phi}} B$$

met: t = met de 'norm' overeenkomende standaard normale t-waarde

B = decimeringshoogte

Laag buitenwater

In geval van extreem laagwater betreft de representatieve belasting de resulterende waterdrukken bij een verval karakteristiek in de levensduur (5% onderschrijdingskans). Voor kunstwerken ontworpen op een ontwerplevensduur van 100 jaar is dit het verval dat gemiddeld eens per 2.000 jaar wordt overschreden.

De verwachtingswaarde van de extreme laagwaterstand van het buitenwater volgt uit:

$$E\{h_{bu}\} = MLW + t \cdot \sigma_{hbu}$$

met: MLW = Maatgevend LaagWater

$E\{h_{bu}\}$ = verwachtingswaarde van buitenwaterstand volgens de vervangende normale verdeling

t = met de ontwerprequentie (1/2.000 per jaar) overeenkomende standaard normale t-waarde (3,31)

σ_{hbu} = standaardafwijking van de buitenwaterstand volgens de vervangende normale verdeling

Voor de in rekening te brengen binnenwaterstand kan dezelfde procedure als beschreven voor extreem hoge buitenwaterstanden worden gevolgd, uitgaande van dezelfde maatgevende laagwaterstand aan de buitenzijde (karakteristiek in de levensduur) en de onderschrijdingsfrequentie daarvan.

Binnenwaterstanden

Uit de statistiek van binnenwaterstanden moeten de volgende gegevens worden bepaald:

- verwachtingswaarde $E\{h_{bi}\}$;
- standaardafwijking σ_{hbi} ;
- correlatie met de frequentieverdeling van buitenwaterstanden ρ_h .

Zowel de standaardafwijking van binnenwaterstanden als de correlatiecoëfficiënt kan verschillend zijn voor lage binnenwaterstanden (voor berekening van het maatgevend positief verval) en hoge binnenwaterstanden (voor berekening van het maatgevend negatief verval).

Maatgevend verval

Het maatgevend verval volgt per situatie uit de volgende functies:

Maatgevend verval bij hoog water (extreem hoge buitenwaterstand)

$$(h_{bu}-h_{bi})_{norm} = E\{h_{bu}\} - E\{h_{bi}\} + t * \sqrt{(\sigma_{hbu}^2 + \sigma_{hbi}^2 - 2 * \rho_h * \sigma_{hbu} * \sigma_{hbi})}$$

maatgevende buitenwaterstand: $(h_{bu})_{norm} = MHW$
maatgevende binnenwaterstand: $(h_{bi})_{norm} = MHW - (h_{bu}-h_{bi})_{norm}$

Maatgevend verval bij laag water (extreem lage buitenwaterstand)

$$(h_{bu}-h_{bi})_{norm} = E\{h_{bu}\} - E\{h_{bi}\} - t * \sqrt{(\sigma_{hbu}^2 + \sigma_{hbi}^2 - 2 * \rho_h * \sigma_{hbu} * \sigma_{hbi})}$$

maatgevende buitenwaterstand: $(h_{bu})_{norm} = MLW$
maatgevende binnenwaterstand: $(h_{bi})_{norm} = MLW - (h_{bu}-h_{bi})_{norm}$

In de volgende tabel worden handreikingen gegeven voor de keuze van de correlatiecoëfficiënt van buiten- en binnenwaterstanden (bron: Richtlijn Waterkerings- en Beschikbaarheidseisen, niet geverifieerd).

*Tabel App B4.1.1
Keuze correlatiecoëfficiënt ρ_h afhankelijk van het verband tussen buiten- en binnenwaterstand*

Aard van het verband	keuze correlatiecoëfficiënt ρ_h
sterk verband tussen hoogwater buiten en binnen	1
zwak verband tussen hoogwater buiten en binnen	0,3
geen verband tussen hoogwater buiten en binnen	0
zwak verband tussen hoogwater buiten en laagwater binnen	-0,3
sterk verband tussen hoogwater buiten en laagwater binnen	-1

Verspreiding van buiten- en binnenwaterstand keuze correlatiecoëfficiënt ρ_h
sterk verband tussen hoogwater buiten en binnen 1
zwak verband tussen hoogwater buiten en binnen 0,3
geen verband tussen hoogwater buiten en binnen 0
zwak verband tussen hoogwater buiten en laagwater binnen -0,3
sterk verband tussen hoogwater buiten en laagwater binnen -1.
Overigens zal in veel gevallen de bepaling van de maatgevende combinatie van buiten- en binnenwaterstand langs een dergelijke statistische weg belemmerd worden door een gebrek aan statistische gegevens.
Meetreeksen van binnenwaterstanden zijn veelal schaarser dan die van buitenwaterstanden, en daarmee samenhangend is dan ook de correlatie tussen optredende buiten- en binnenwaterstanden niet eenvoudig in te schatten. Uiteraard zijn er echter ook andere procedures mogelijk.

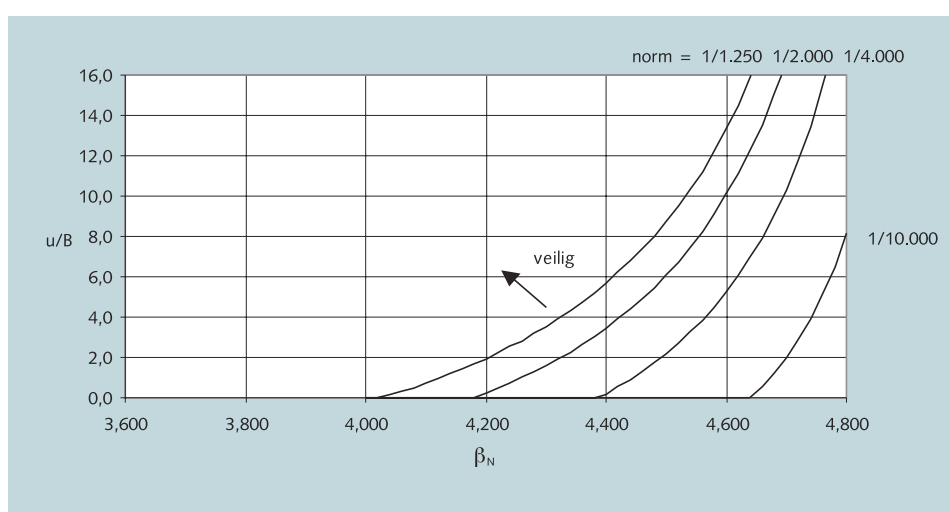
Als voorbeeld hiervan kan dienen de berekening van de binnenwaterstand op het IJsselmeer bij het optreden van MHW aan de buitenkant tegen de spuisluizen in de afsluitdijk. Het vastgestelde MHW op de Waddenzee ter plaatse bedraagt NAP +5,45 m. Deze waterstand wordt bereikt bij een noordwesterstorm met een uurgemiddelde windsnelheid van 27 m/s. Uitgaande van de in dit geval aanwezige volledige correlatie tussen hoog buitenwater (opwaaiing) en laag binnenwater (afwaaiing), is daarmee uitgaande van het gemiddelde winterpeil van NAP -0,10 m een bijbehorende binnenwaterstand berekend van NAP -1,50 m (dus 1,40 m meter waterstandsverlaging ten gevolge van afwaaiing). De ontwerpwaarde van het verval is daarmee berekend op $5,45 - -1,50 = 6,95$ m.

Appendix B4.2 Belastingfactor op de waterstandsverschilddruk

Controle van de veiligheid van de belastingfactor 1,25

Voor de belastingfactor op de resulterende waterdruk bij het maatgevende verval mag in beginsel een waarde van 1,25 worden gebruikt. De veiligheid van de factor 1,25 kan worden gecontroleerd met behulp van onderstaande figuur. In deze figuur is het gebied aangegeven waarbinnen de eenvoudige benadering als voldoende veilig is te beschouwen. Buiten dit gebied dient de gedetailleerde methode te worden gevolgd. Een toelichting op de figuur is direct daaronder gegeven.

*Figuur App B4.2.1
Veiligheid van de
eenvoudige benadering
 $\gamma_H = 1,25$*



In figuur App B4.2.1 zijn voor de vier onderscheiden normfrequenties lijnen weergegeven welke bij willekeurige combinaties van de vereiste betrouwbaarheidsindex β_N en de u/B -waarde van het verval over het keermiddel corresponderen met een belastingfactor $\gamma_H = 1,25$. Bij de berekening van de weergegeven lijnen is uitgegaan van een levensduurfactor van $f_N = 10$ jaar en van een veilige waarde van de variatiecoëfficiënt van de materiaalsterkte van 0,2.

De formule waarmee de belastingfactor (uitgaande van Gumbel verdeelde hydraulische belasting) kan worden berekend luidt:

$$\nu_H(\eta_N, f_N, u, B) = \frac{u - B \log(A(\zeta_s \eta_N) / f_N)}{u \cdot 4 \cdot B \log(norm)} \times e^{(\zeta_R(\eta_N 43,6) \sqrt{\ln(12 V_R^2)})}$$

met: β_N = vereiste betrouwbaarheidsindex voor de equivalente referentieperiode, welke minimaal gelijk is aan de volgens de NEN 6700 vereiste waarde van 3,6 [-]

- $\Phi(..)$ = verdelingsfunctie voor de standaard normale verdeling (te vinden in ieder statistiek handboek, of te bepalen met bijvoorbeeld de excelfunctie 'STAND.NORM.VERD')
- f_N = levensduurfactor [jaar]
- u = waterstandsverschil dat met een kans van 0,63 per jaar wordt overschreden
- B = decimeringswaarde van het waterstandsverschil, ofwel de toename van het waterstandsverschil bij een factor 10 kleinere overschrijdingskans in het lage frequentiegebied ($f < 0,1$ per jaar)
- α_S = invloedsfactor voor onzekerheid van de belasting = -0,7 [-]
- α_R = invloedsfactor voor onzekerheid van de sterkte = 0,8 [-]
- V_R = variatiecoëfficiënt van de sterkte (zie tabel B4.2) [-]

Ervan uitgaande dat de vereiste betrouwbaarheid van afzonderlijke faalmechanismen rechtstreeks mag worden overgenomen van de vereiste betrouwbaarheid van de constructie in zijn geheel, en uitgaande van een faalruimtefactor van 0,01 en een levensduurfactor van 10 jaar, zijn voor de vier onderscheiden normfrequenties de volgende betrouwbaarheidsindices berekend, welke uit oogpunt van waterkerende veiligheid als taakstellend voor de kans op het optreden van faalmechanismen kunnen worden beschouwd (zie ook paragraaf B4.3):

- norm = 1/1250 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx -\Phi^{-1}(0,01 \times 10 \times \text{norm}) = 3,8$
- norm = 1/2000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx -\Phi^{-1}(0,01 \times 10 \times \text{norm}) = 3,9$
- norm = 1/4000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx -\Phi^{-1}(0,01 \times 10 \times \text{norm}) = 4,1$
- norm = 1/10.000 per jaar $\Rightarrow \beta_N \approx -\Phi^{-1}(0,01 \times 10 \times \text{norm}) = 4,3$

Uitgaande van deze waarden voor de vereiste betrouwbaarheidsindex kan uit figuur A4.2-1 direct worden afgelezen dat de belastingfactor met waarde 1,25 in beginsel altijd veilig genoeg is, ongeacht de u/B -waarde van het verval. Indien sprake is van een strengere betrouwbaarheidseis (hogere vereiste betrouwbaarheidsindex β_N), kan het zijn dat, afhankelijk van de u/B waarde, een hogere belastingfactor in rekening moet worden gebracht.

Aanpassing van de belastingfactor 1,25

De gedetailleerde methode voor de bepaling van de belastingfactor, met de eerder vermelde formule, kan worden toegepast als de waarde 1,25 niet veilig genoeg blijkt te zijn en dus moet worden verhoogd, of als het gewenst is te onderzoeken of het ontwerp kan worden aangescherpt door mogelijke verlaging van deze factor.

Op de aan te houden waarden voor levensduurfactor, en de bepaling van de minimaal vereiste waarde van de betrouwbaarheidsindex is hiervoor reeds ingegaan. Voor de bepaling van de waarde van de variatiecoëfficiënt van de sterkte wordt verwezen naar paragraaf B4.6. Daarmee resteert de bepaling van de waarden u en B van het waterstandsverschil. Deze kunnen met de volgende drie stappen worden bepaald:

Stap 1

Bepaal de parameters $h_{bu\ 0,63}$ (buitenwaterstand met een overschrijdingskans van 0,63 per jaar) en B_{bu} (decimeringswaarde van de buitenwaterstand) van de Gumbel-verdeelde buitenwaterstand h_{bu} . De uitdrukking voor deze verdeling luidt:

$$f(h > h_{bu}) = 1 - \exp\{-\exp\{-2,3(h_{bu} - h_{bu\ 0,63})/B_{bu}\}\}$$

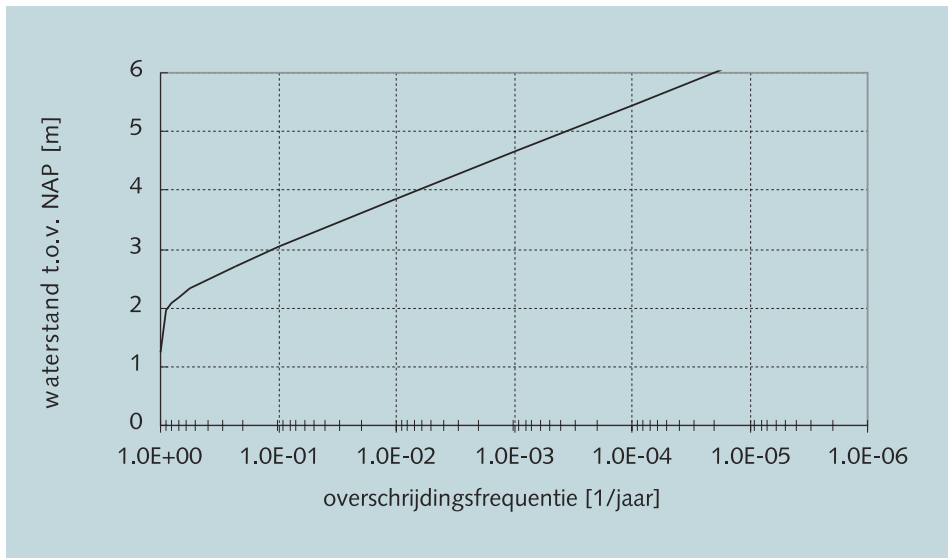
De parameters $h_{bu\ 0,63}$ en B_{bu} kunnen worden bepaald indien van twee extreme waarden van de buitenwaterstand $h_{bu\ 1}$ en $h_{bu\ 2}$, de overschrijdingsfrequenties f_1 en f_2 bekend zijn. Als nu de verdelingsfunctie wordt herschreven tot:

$$\ln\{-\ln[1-f(h > h_{bu})]\} = -2,3(h_{bu} - h_{bu\ 0,63})/B_{bu}$$

dan kunnen door invullen van de beide overschrijdingsfrequenties f_1 en f_2 en bijbehorende hoge waterstanden $h_{bu\ 1}$ en $h_{bu\ 2}$, de $h_{bu\ 0,63}$ en B_{bu} worden opgelost als twee onbekenden van twee vergelijkingen. Voor een zo nauwkeurig mogelijke bepaling van de verdeling van buitenwaterstanden dient gebruik gemaakt te worden van waterstanden met een lage overschrijdingsfrequentie. Aanbevolen wordt in ieder geval de combinatie $f = \text{normfrequentie}$ en $h_{bu} = \text{MHW}$ te gebruiken.

De interpretatie van de parameters u_{bu} en B_{bu} is als volgt (zie ook figuur App B4.2.2):

- $h_{bu\ 0,63}$ = buitenwaterstand die met een kans van 0,63 per jaar wordt overschreden
- B_{bu} = decimeringswaarde van de buitenwaterstand, ofwel de toename van hoogbuitenwater bij een factor 10 kleinere overschrijdingskans in het lage frequentiegebied ($f < 0,1$ per jaar)



*Figuur App B4.2.2
Interpretatie van de
parameters $h_{bu\ 0,63}$
en B_{bu}*

Stap 2

Bepaal op dezelfde manier ook de parameters $h_{bi\ 0,63}$ en B_{bi} van de verdeling van binnenwaterstanden. Indien deze gegevens niet uit meetgegevens kunnen worden herleid dienen hiervan schattingen te worden gemaakt

Stap 3

Bepaal uit de parameters $h_{bu\ 0,63}$ en B_{bu} van de buitenwaterstand en de parameters $h_{bi\ 0,63}$ en B_{bi} de parameters u en B van het verval:

- de parameter B van het verval wordt bepaald volgens $B_{bu} - B_{bi}$ waarbij B_{bi} een positieve waarde heeft in geval van positieve correlatie tussen buiten- en binnenwaterstanden, en een negatieve waarde in geval van negatieve correlatie;
- de parameter u van het verval wordt bepaald volgens $h_{bu\ 0,63} - h_{bi\ 0,63}$.

N.B. Indien de parameter u wordt bepaald voor het verval, dan maakt het niet uit welke referentiehoogte wordt gebruikt ten opzichte waarvan de parameters $h_{bu\ 0,63}$ en $h_{bi\ 0,63}$ voor respectievelijk de buiten- en binnenwaterstand worden uitgedrukt. Normaal gesproken zullen deze parameters worden uitgedrukt ten opzichte van NAP. Deze referentiehoogte valt immers weg als uit de twee parameters $h_{bu\ 0,63}$ en $h_{bi\ 0,63}$ de parameter u voor het verval wordt berekend.

Er zijn echter situaties denkbaar dat de referentiehoogte ten opzichte waarvan de parameter u wordt uitgedrukt niet vrij kan worden gekozen. Indien bijvoorbeeld de verdelingsfunctie van de waterstand boven een tunneldak wordt vastgesteld, dan dient de parameter u te zijn gekozen ten opzichte van de hoogte van dit tunneldak.

B5 Golfbelasting op een verticale wand

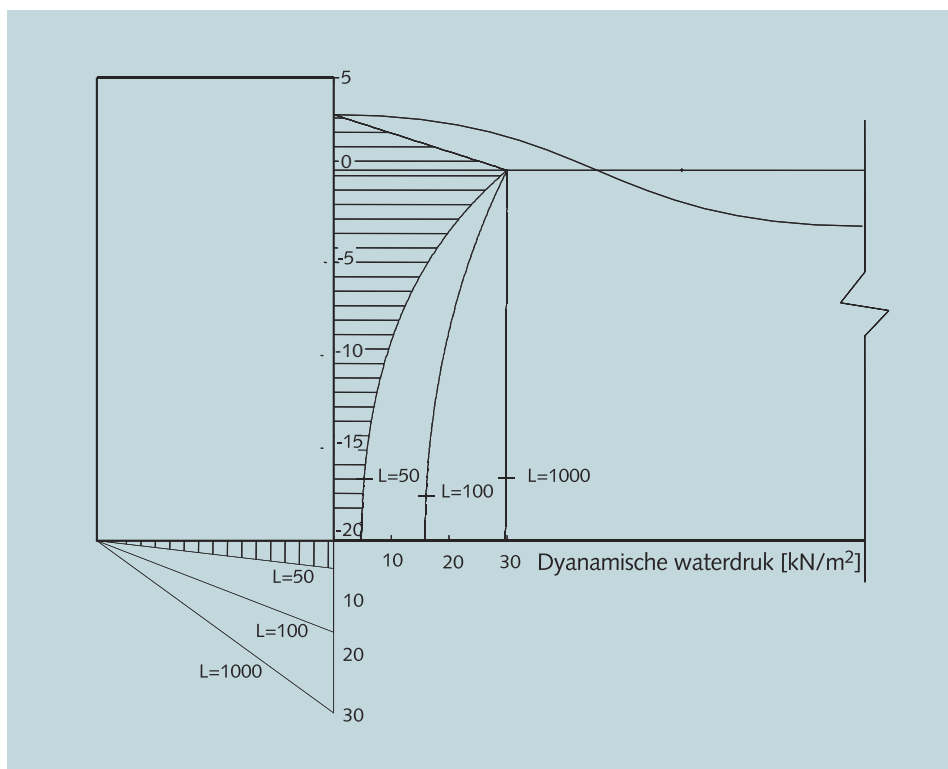
B5.1 Inleiding

Bij het bepalen van de golfbelasting worden doorgaans drie typen golven onderscheiden, te weten niet-brekende, brekende en gebroken golven.

Bij niet-brekende golven kan de kracht op een verticale wand worden bepaald met de uit de golftheorie volgende drukverdeling in een verticaal. De druk tegen een verticale wand bij een waterdiepte van 20 meter volgens de lineaire golftheorie is geschetst in Figuur B5.1. Daarbij is uitgegaan van een golfhoogte van de staande golf van 6 meter, en is de middenstandsverhoging van het wateroppervlak buiten beschouwing gelaten. In de figuur zijn de golfdrukken voor verschillende golflengtes getekend. Deze moeten worden opgeteld bij de hydrostatische druk behorende bij het stilwaterniveau. Bij zeer grote golflengte benadert de golfdruk de hydrostatische waterdruk.

Het verloop van de kracht in de tijd staat geschetst in figuur B5.2a.

*Figuur B5.1
Golfdruk volgens de
lineaire golftheorie*



In het geval er sprake is van brekende golven hebben de vorm van de brekende golf en eventuele luchtinsluitingen tussen brekende golf en constructie een grote invloed op de maximale golfklap en het verloop van de drukverdeling in de tijd. Afhankelijk van de wijze van breken van de

golven tegen de constructie zal er sprake zijn van een sterke impactbelasting of een meer gelijkmatige piekbelasting. Dit staat geschetst in de figuren B5.2b en B5.2c.

Essentieel bij brekende golven is het dynamische karakter van de belasting. Bij de botsing van de golf met de constructie wordt impuls overgedragen. Op het moment van de impact treedt een relatief grote druk op die slechts zeer kort aanhoudt (ca. $1/10$ a $1/100$ s). Door de zeer korte duur is deze druk niet representatief voor de stabiliteit van een constructie in verband met de massa-traagheid daarvan. Wel kan deze druk van belang zijn voor de sterkte van de constructie en constructieonderdelen (partieel bezwijken). Direct na de impact neemt de druk sterk af en blijft daarna nog even constant op een bepaald niveau.

Voor het berekenen van de golfbelasting bestaan verschillende modellen waarvan er hier twee worden gepresenteerd, te weten het eenvoudige model van Sainflou en het gemodificeerde model van Goda. Voor niet-brekende golven zijn beide modellen toe te passen, maar voor brekende of gebroken golven is alleen het model van Goda toepasbaar.

In paragraaf B5.2 wordt een stroomschema gegeven dat kan worden doorlopen bij de berekening van de golfbelasting. In paragraaf B5.3 wordt aangegeven hoe de ontwerpparameters kunnen worden bepaald. In paragraaf B5.4 worden de belastingmodellen toegelicht. Tot slot wordt in paragraaf B5.5 een aantal aandachtspunten voor het bepalen van de belasting genoemd.

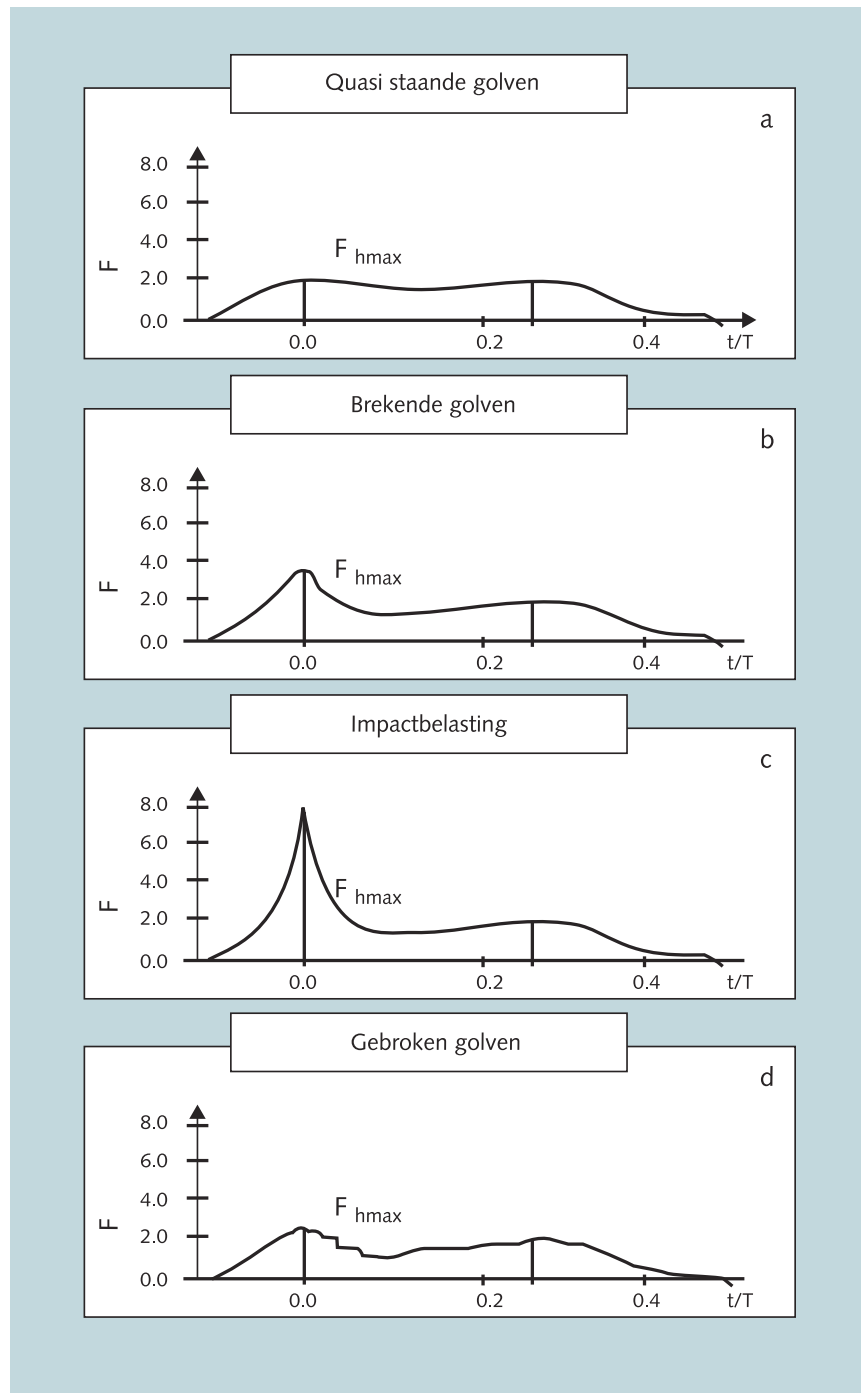
B5.2 Stroomdiagram golfbelasting

Voordat de golfbelasting kan worden berekend moet een aantal gegevens worden geïnventariseerd en vastgelegd. Deze gegevens betreffen de geometrie van de omgeving voor het kunstwerk, de geometrie van de constructie en de natuurlijke ontwerprandvoorwaarden, zoals de waterstanden, de significante golfhoogte, de bijbehorende golfperiode en de stormduur.

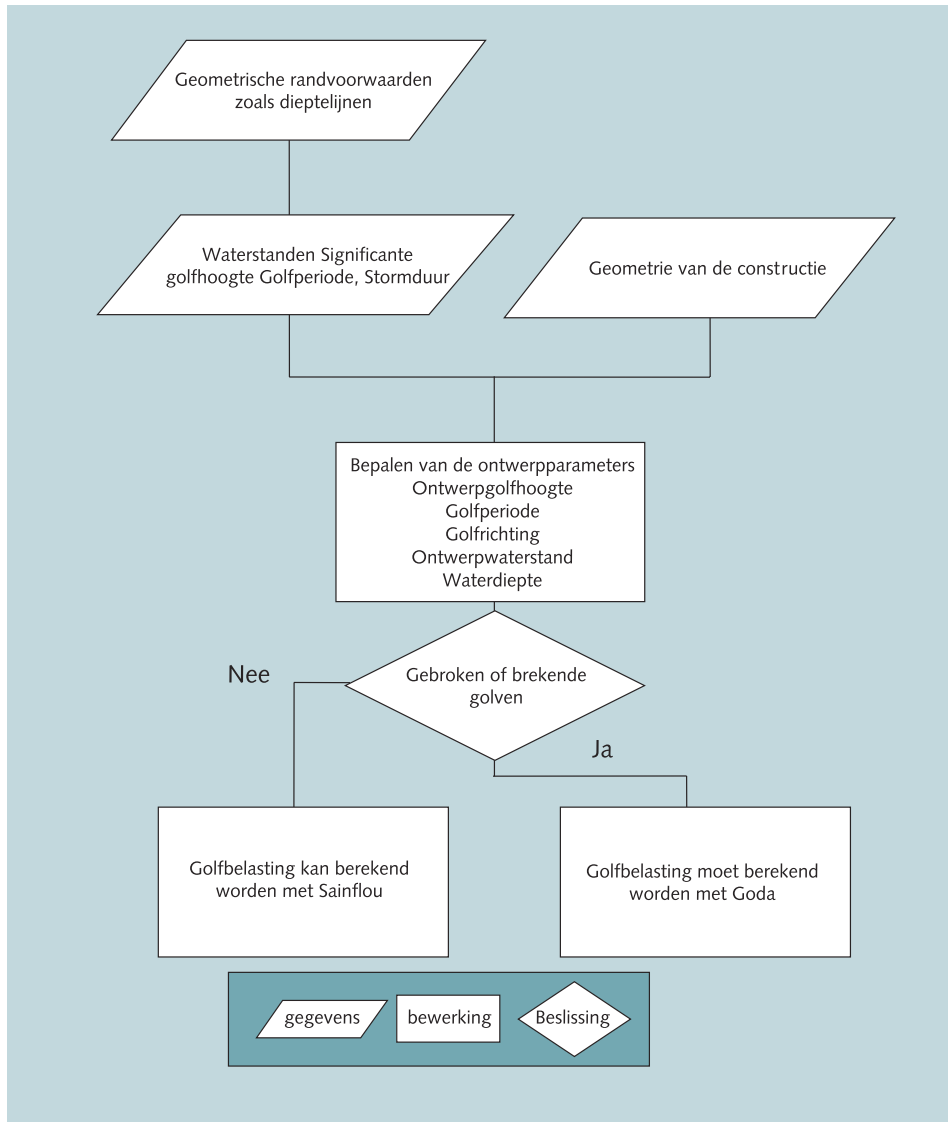
Met deze gegevens worden de ontwerpparameters bepaald, zoals de ontwerp-golfhoogte, de ontwerpwaarde van de golfperiode (gemiddelde periode en piekperiode), de golfrichting, de ontwerpwaterstand en de waterdiepte.

Vervolgens moet er een model worden gekozen waarmee de belasting kan worden berekend. De te volgen procedure is gegeven in het stroomdiagram van figuur B5.3.

Figuur B5.2
Verloop van de drukbe-
lasting in de tijd



waarin t = tijd
 T = golfperiode



Figuur B5.3
Stroomdiagram golfbe-
lasting

In de volgende paragrafen zullen de stappen in het stroomschema worden toegelicht.

B5.3 Ontwerpparameters

B5.3.1 Waterdiepte

Voor het bepalen van de waterdiepte wordt verwezen naar bijlage B2 'Kerende hoogte'.

B5.3.2 Golfhoogte en golfperiode

De ontwerpgolf wordt afgeleid van de significante golf, de gemiddelde

golfperiode (T_m) en de duur van de ontwerpstorm. Bij de keuze van de ontwerpstorm (windsnelheid) wordt de daarbij behorende overschrijdingsfrequentie gelijk gekozen aan de overschrijdingsfrequentie van de ontwerpwaterstand.

In het Hydraulisch Randvoorwaardenboek [B5.1] worden de significante golfhoogte en de golfperiode langs de kust gegeven. De gegeven waarden van de golfhoogte zijn soms de golfhoogten aan de teen van de waterkering, maar meestal op (kleine) afstand daarvan. Dit zijn slechts randvoorwaarden voor de 5 jaarlijkse toetsing en aanbevolen wordt het ontwerp op zwaardere randvoorwaarden te baseren. Bij geval van twijfel kan contact opgenomen worden met de Helpdesk Waterkeren (015 - 2518450).

In de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 2 - benedenrivierengebied is een methode beschreven waarmee de significante golfhoogte en de piekperiode van de golven ter plaatse van een waterkering aan de rivier kunnen worden bepaald.

Afhankelijk van de geometrie kan er sprake zijn van verschijnselen zoals shoaling, refractie en diffractie. Deze hebben invloed op de golfhoogte. Het effect wordt beschreven met:

$$H_s = K_s (K_r K_d H_{s,0}) \quad (\text{B5.1})$$

met: H_s = de significante golfhoogte van de inkomende golf vlak voor de constructie [m]

$H_{s,0}$ = de significante golfhoogte op diep water [m]

K_s = de shoalingcoëfficiënt

K_r = de refractiecoëfficiënt

K_d = de diffractiecoëfficiënt

Als eerste, zeer eenvoudige benadering kan worden uitgegaan van:

$$H_s = H_{s,0} \quad (\text{B5.2})$$

Voor de definitieve berekening van de golfbelasting dienen de diverse coëfficiënten nauwkeuriger te worden bepaald. De refractie- en diffractiecoëfficiënten kunnen worden bepaald met behulp van mathematische modellen. Voor de theorie wordt verwezen naar literatuur [ref. B5.3] en [ref. B5.4].

De ontwerpgolfhoogte wordt zo gekozen dat de overschrijdingskans van deze waarde tijdens de stormpiek ca 10% bedraagt. Voor de gemiddelde Nederlandse omstandigheden langs de Noordzeekust, op de Waddenzee, op het IJsselmeer en in het rivierengebied kan dan, uitgaande van een Rayleigh-verdeling van golfhoogten, een veilige waarde worden aangehouden van:

$$H_d = 2,2 \cdot H_s \quad (B5.3)$$

met: H_d = ontwerpgolfhoogte van de inkomende golf vlak voor de constructie [m]

De ontwerpgolfhoogte kan fysisch begrensd zijn door de waterdiepte. In een dergelijk geval breekt de golf voor de constructie en is de hoogte begrensd. Om deze reden geldt als voorwaarde:

$$H_d \leq 0,9 D_{0,5L} \quad (B5.4)$$

met: $D_{0,5L}$ = waterdiepte op circa $L/2$ voor de constructie [m]

Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, moet de ontwerpgolfhoogte van de invallende golf voor de constructie worden verlaagd tot de maximumwaarde volgens formule B5.4.

Afhankelijk van de geometrie van de constructie, de steilheid van de inkomende golven en de waterdiepte voor de constructie zullen de inkomende golven geheel of gedeeltelijk tegen de constructie reflecteren. De golfhoogte voor de constructie neemt hierdoor toe. Het effect van reflectie wordt als volgt beschreven:

$$H_{d,refl} = (1 + \chi) \cdot H_d \quad (B5.5)$$

met: $H_{d,refl}$ = de ontwerpgolfhoogte voor de constructie [m]
 χ = de reflectiecoëfficiënt met een waarde tussen 0 en 1 [-]

Bij een verticale wand geldt $\chi \approx 0,7$ à $0,9$. Als veilige waarde kan een reflectiecoëfficiënt van 1 worden aangehouden. Bij brekende en gebroken golven neemt de reflectie sterk af. Voor de mate van afname van de reflectie wordt verwezen naar [ref. B5.2].

B5.3.3 Golflengte

De golflengte kan worden bepaald met:

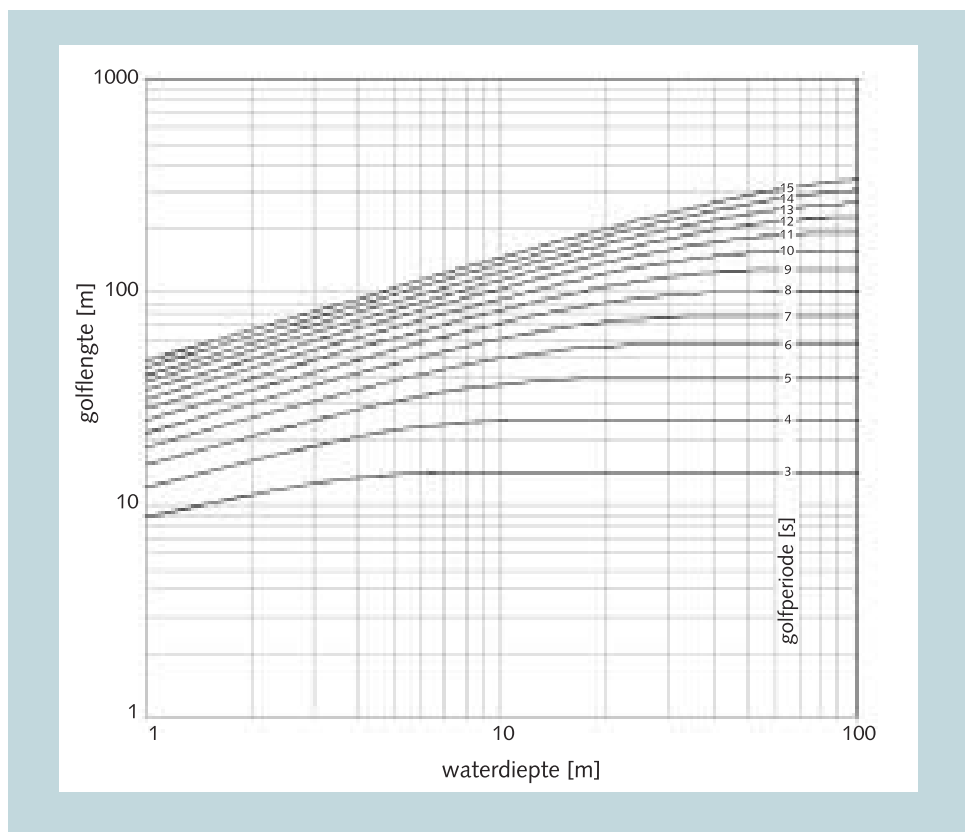
$$L = \frac{gT^2}{2\phi} \tanh(kh) \quad (\text{B5.6})$$

met: $k = \frac{2\phi}{L}$ = golfgetal [rad/m]

T = golfperiode [s]

In figuur B5.4 staat de golflengte als functie van de waterdiepte en de golfperiode.

*Figuur B5.4
Golflengte als functie
van de waterdiepte en
de golfperiode*



B5.4 Keuze van het model

Het eenvoudige model van Sainflou mag voor niet-brekende golven worden toegepast. Onder deze golfconditie geeft het model van Sainflou doorgaans hogere belastingen dan dat van Goda. De voordelen van het

model van Sainflou ten opzichte van dat van Goda zijn:

- eenvoudiger rekenwerk;
- minder invoergegevens nodig.

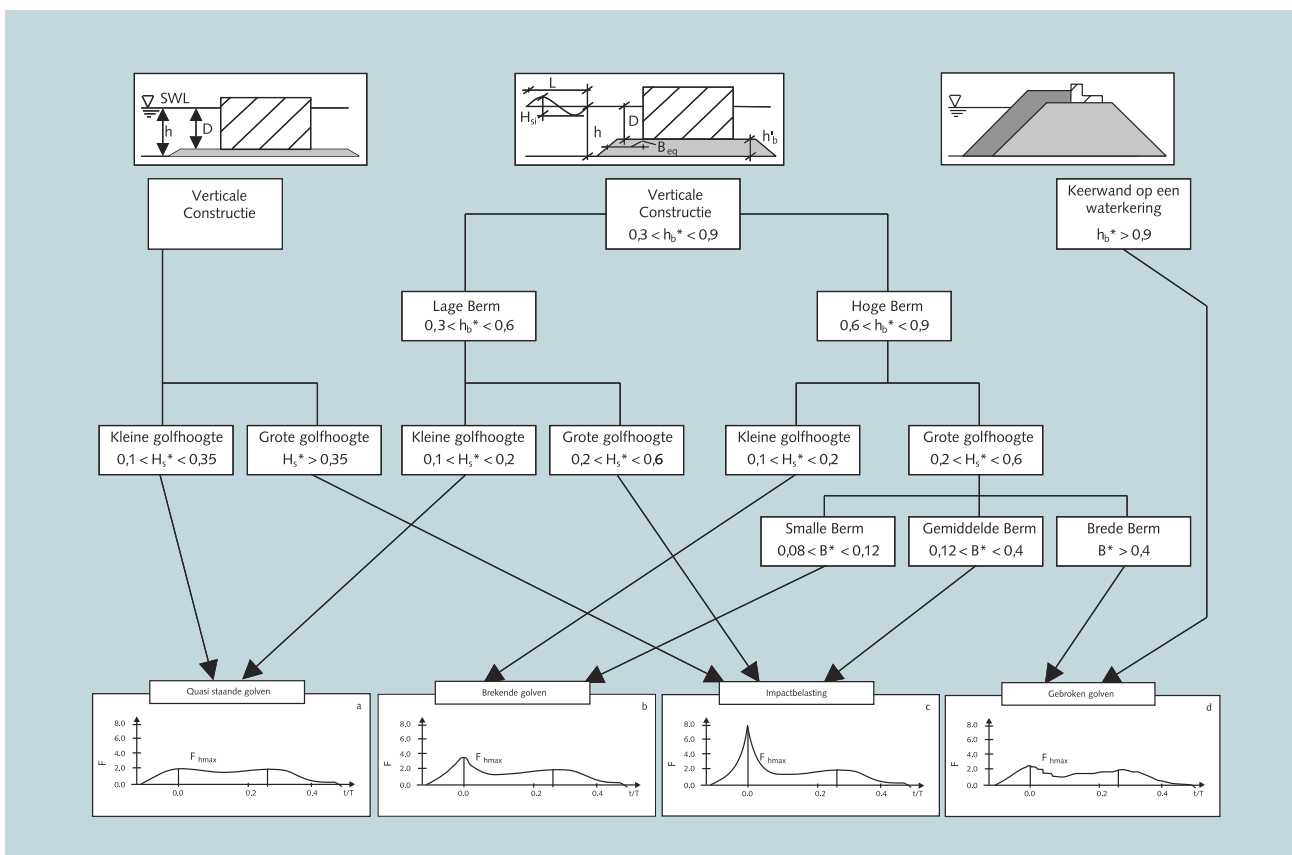
De nadelen zijn:

- conservatieve schatting;
- alleen toepasbaar bij niet-brekende golven.

Voor dit laatste is een belangrijke beperking, waarbij met name de onzekerheid met betrekking tot het al dan niet breken van de golven een rol speelt.

Om te beoordelen of de golven zullen breken kan figuur B5.5 worden gebruikt.

*Figuur B5.5
Classificatie golfbe-
lasting, volgens [ref.
B5.6]*



met: $h_b^* = h'_b/h$
 $H_s^* = H_{si}/h$
 $B^* = B_{eq}/L_{pi}$
 $h'_b =$ bermhoogte
 $h =$ waterdiepte voor de constructie
 $H_{si} =$ significante golfhoogte invallende golven
 $B_{eq} =$ equivalente bermbreedte = bermbreedte + halve taludlengte
 $L_{pi} =$ golflengte behorende bij de piekperiode van de invallende golven op waterdiepte h
 $t =$ tijd
 $T =$ golfperiode

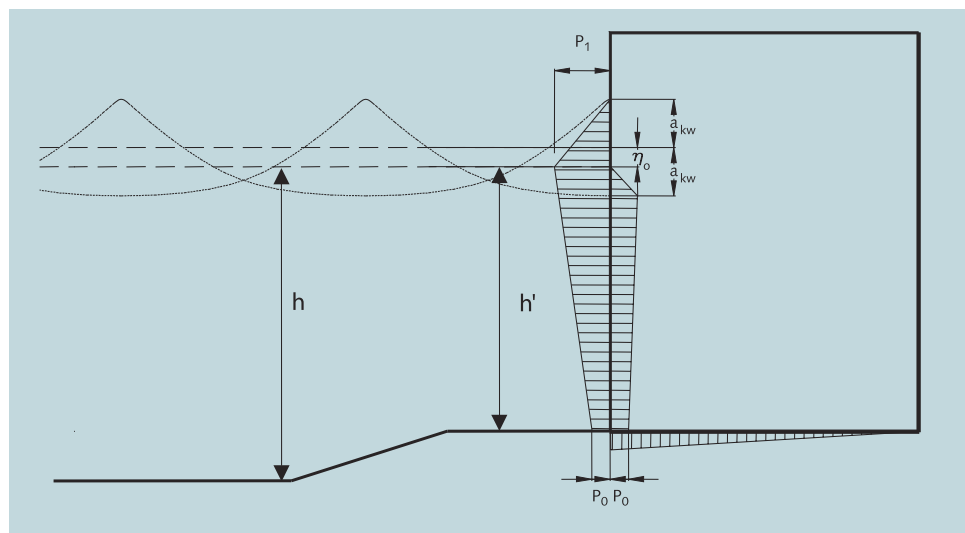
Het model van Goda heeft als voordeel dat het toepasbaar is voor alle golfcondities. Een nadeel van de methode is dat de vergelijkingen minder eenvoudig zijn. Echter, met de huidige stand van de automatisering is dit geen echt probleem. Doorgaans zal men daarom alleen bij een eerste schatting, in een schetsontwerp, nog het model van Sainflou toepassen.

B5.5 Belastingmodellen

B5.5.1 Belastingmodel van Sainflou

In de praktijk wordt vaak een eenvoudige benadering gehanteerd voor de golfdruk op een wand, die bekend staat als de methode van Sainflou. Deze methode is geschikt voor toepassing bij niet-brekende golven. In figuur B5.6 is deze benadering schematisch weergegeven. De methode van Sainflou is enigszins voorzichtig, omdat de waterdruk onder het stil-

Figuur B5.6
Het model van Sainflou



waterniveau lineair wordt verondersteld. Hierbij wordt aanbevolen om voor de waterdiepte voor de drempel (h) en de ontwerpgolfhoogte ($H_{d,refl}$) een veilige waarde te nemen.

In de benadering wordt uitgegaan van de tweede orde golftheorie van Stokes met volledige reflectie ($\chi = 1$), waarbij de golven de vorm van een trochoïde hebben. In dit geval is er sprake van een verhoging van de middenstand gelijk aan:

$$\xi_0 \mid \frac{1}{2} k a_{kw}^2 \coth(kh) \quad (B5.7)$$

met: $\eta_0 =$ de verhoging van de middenstand [m]
 $a_{kw} =$ de halve golfhoogte voor het kunstwerk $= H_{d,refl} / 2$ [m]
 $H_{d,refl} =$ ontwerpgolfhoogte voor de constructie [m]
 $k =$ het golfgetal van de inkomende golf $= \frac{2\phi}{L}$ [m⁻¹]
 $L =$ de golflengte [m]
 $h =$ waterdiepte voor de drempel [m]

Om de amplitude van de golf voor de constructie te vinden dient in de formule van Sainflou de hoogte van de gereflecteerde golf te worden ingevuld. Bij volledige reflectie ($\chi = 1$) geldt: $a_{kw} = H_d$.

Voor de maximale druk ter hoogte van de middenwaterstand wordt aangenomen:

$$p_1 \mid \rho g (a_{kw} + 2\xi_0) \quad (B5.8)$$

De druk aan de bodem (ter plaatse van het funderingsvlak van de wand) bedraagt volgens Sainflou:

$$p_0 \mid \frac{\rho g a_{kw}}{\cosh(kh')} \quad (B5.9)$$

met: $h' =$ waterdiepte boven het funderingsvlak van de wand [m]

Het drukverloop tussen p_0 en p_1 wordt lineair aangenomen.

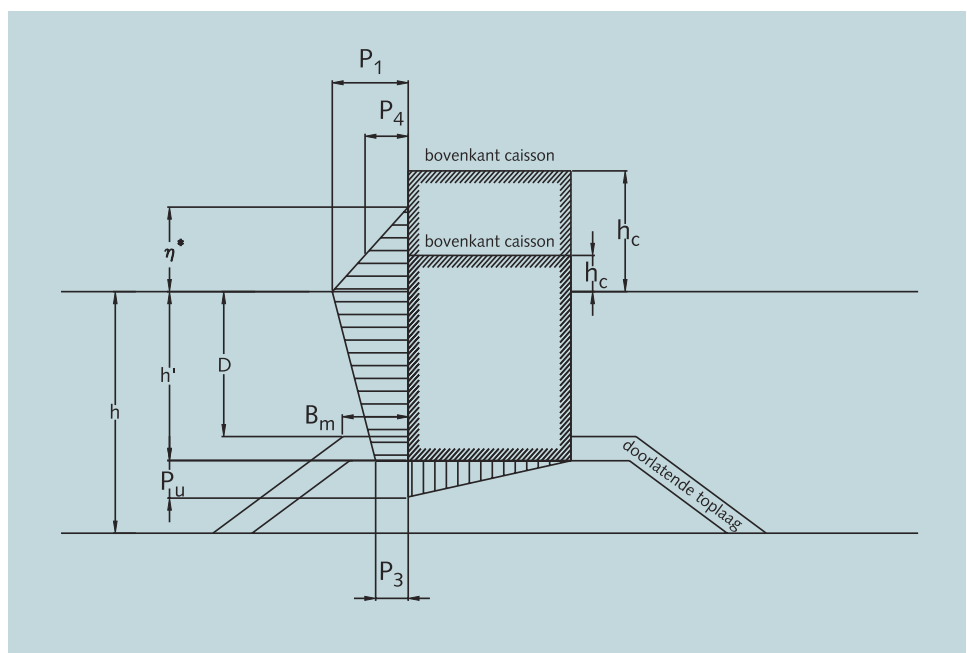
B5.5.2 Het gemodificeerde belastingmodel van Goda

B5.5.2.1 Golfdrukken

Goda heeft een algemene formulering van de golfdruk op een caisson op een stortstenen drempel gegeven. De vergelijkingen van Goda gelden voor zowel niet-brekende als brekende golven. Opgemerkt wordt dat het model in principe 'state of the art' is, maar wel gebaseerd is op curve-fitting op de resultaten van experimenten. De formulering is door Takahashi et al [ref. B5.5] aangepast om te kunnen worden gebruikt voor golven die tegen de constructie breken.

De vergelijkingen van Goda worden wereldwijd niet alleen veel gebruikt bij het ontwerp van verticale golfbrekers, maar ook voor het ontwerp van waterkeringen. Hoewel de vergelijkingen zijn afgeleid voor golfbrekers op een stortstenen drempel, worden zij ook veel toegepast voor wanden zonder drempel. De vergelijkingen veranderen niet in geval van overslag. In het model van Goda komt de reflectiecoëfficiënt niet voor. Het model veronderstelt volledige reflectie ($\chi = 1$). In het model dient de ongereflecteerde golfhoogte H_d te worden ingevuld. De reflectie is verdisconteerd in de uitdrukkingen voor de golfdrukken.

Figuur B5.7
Het model van Goda



De vergelijkingen zijn:

$$\begin{aligned}
 \xi^* &= 0,75(1,2 \cos(\eta)) \zeta_1 H_d \\
 p_1 &= 0,5(1,2 \cos(\eta)) (\zeta_1 \zeta_2 + 2 \zeta_2 \zeta_3^* \cos^2(\eta)) \psi g H_d \\
 p_3 &= \zeta_3 p_1 \\
 p_4 &= \zeta_4 p_1 \\
 p_u &= 0,5(1,2 \cos(\eta)) \zeta_3 \zeta_1 \zeta_3 \psi g H_d
 \end{aligned} \tag{B5.10}$$

met: β = hoek van de golfrichting met de normaal op het vlak van de wand
 $\alpha_1, \alpha^*, \alpha_3, \alpha_4$ = golfdrukcoëfficiënten, afhankelijk van golfconditie en geometrie
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = modificatiefactoren, afhankelijk van de geometrie en aard van de wand
 H_d = ontwerp golfhoogte van de inkomende golf vlak voor de constructie (= $2,2H_s$) [m]
 D = waterdiepte boven de toplaag van de drempel [m]
 h' = waterdiepte boven het funderingsvlak van de wand [m]
 h = waterdiepte voor de drempel [m]
 h_c = hoogteverschil tussen stilwaterlijn en bovenkant van de wand [m]

B5.5.2.2 Golfdrukcoëfficiënten

De coëfficiënt α_1 geeft het aandeel van de golfdruk dat langzaam varieert met dezelfde frequentie als de golffrequentie.

Met de coëfficiënt α^* wordt de top van de kerkdakbelasting volgens figuur B5.2c gemodelleerd. De grootte van de coëfficiënt α^* is afhankelijk van de wijze waarop de golf breekt. Als de golf voor de constructie breekt zal de belastingspiek beperkt blijven. Als de golf echter tegen de constructie breekt (plunging) dan kan er een grote impulsbelasting optreden. Deze twee gevallen worden gemodelleerd door α_2 en α_1 . In figuur B5.2 is dit toegelicht voor verschillende golfcondities.

De vergelijkingen voor deze coëfficiënten zijn:

$$\alpha_1 = 0,62 \left(0,5 \frac{\sinh(4\phi h / L_d)}{\sinh(4\phi h / L_d)} \right)^2 \tag{B5.11}$$

$$\alpha^* = 0,62 \left(0,5 \frac{\sinh(4\phi h / L_d)}{\sinh(4\phi h / L_d)} \right)^2 \tag{B5.12}$$

met: L_d = golflengte [m]

$$\alpha_2 = \min \left(\frac{14 D / h_b (H_d / D)^2}{3}, \frac{2D}{H_d} \right)$$

en

$$\zeta_l \mid \zeta_n \zeta_m$$

$$\zeta_m \mid \min \left(\frac{H_d}{D}, 2 \right) \quad \zeta_n \mid \frac{\cos(\iota_2)}{\cosh(\iota_1)} \quad \text{als } \iota_2 \geq 0$$

$$\zeta_n \mid \frac{1}{\cos(\iota_1) \sqrt{\cosh(\iota_2)}} \quad \text{als } \iota_2 < 0$$

$$\iota_1 \mid \begin{matrix} 20 \iota_{11} & \text{als } \iota_{11} \geq 0 \\ 15 \iota_{11} & \text{als } \iota_{11} < 0 \end{matrix} \quad \iota_{11} \mid \left[0,93 \frac{B_M}{L_d} 4^{0,12} \right]^{1/2} \left[0,36 \frac{h^4 D}{h} 4^{0,6} \right]^{1/2}$$

$$\iota_2 \mid \begin{matrix} 4,9 \iota_{22} & \text{als } \iota_{22} \geq 0 \\ 3,0 \iota_{22} & \text{als } \iota_{22} < 0 \end{matrix} \quad \iota_{22} \mid \left[4,036 \frac{B_M}{L_d} 4^{0,12} \right]^{1/2} \left[0,93 \frac{h^4 D}{h} 4^{0,6} \right]^{1/2}$$

h_b = waterdiepte op afstand $5H_d$ van de wand [m]

B_M = breedte van de berm voor de wand
(zie Figuur B5.7) [m]

De coëfficiënt α_3 geeft de afname van de golfdruk over de diepte. Deze is geformuleerd als:

$$\alpha_3 = 14 (h' / h) \left[\frac{1}{\cosh(2\phi h / L_d)} \right] \quad (\text{B5.13})$$

Met de coëfficiënt α_4 wordt de reductie van de golfbelasting als gevolg van het overslaan van golven in rekening gebracht.

$$\alpha_4 = 14 \frac{h_c^*}{\xi^*} \quad (\text{B5.14})$$

met: $h_c^* = \min(\xi^*, h_c)$ [m]

B5.5.2.3 Modificatiefactoren

De modificatiefactoren $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ zijn afhankelijk van de constructievorm van de wand. Voor een rechte wand zijn alle factoren gelijk aan 1. In

[B5.7] staan enkele voorbeelden voor de waarden van $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ bij verschillende constructievormen. Voor specifieke vormen kunnen de modificatiefactoren worden bepaald met modelonderzoek.

B5.6 Aandachtspunten bij het ontwerp

B5.6.1 Scheef invallende golven en richtingspreiding

Tot nu toe is steeds uitgegaan van loodrecht invallende (langkammige) golven. In het geval van scheef invallende golven zal er geen sprake meer zijn van een lange golftop tegen de constructie. De reflectie zorgt voor kortkammige golftoppen voor de constructie. Afhankelijk van de breedte van de wand is de totale belasting op de wand in zo'n geval kleiner dan bij loodrecht inkomende golven.

In een golfveld met een dominante golfrichting is doorgaans sprake van een richtingspreiding van de individuele golven. Ook dit leidt tot kortkammigheid van de golven. Dit betekent dat er een reductie van de belasting mogelijk is

Geadviseerd wordt om bij het bepalen van de reductie als gevolg van scheef inkomende golven en kortkammigheid de totale geometrie van de omgeving van de constructie in beschouwing te nemen. Voor het bepalen van de reductie kunnen mathematische of fysische modellen worden gebruikt. In de (gemodificeerde) vergelijkingen van Goda is de richting van de golven meegenomen in het bepalen van de hoogte van de golftop voor de constructie. Er is echter geen reductie ingevoerd voor het bepalen van de totale belasting over de volle breedte van de wand van de constructie.

B5.6.2 Belastingconcentratie door fuikvorming

Door reflectie van golfenergie kan in een hoek tussen twee wanden een concentratie van golfenergie ontstaan. Dit verschijnsel wordt ook wel fuikvorming genoemd. Het komt bijvoorbeeld voor bij de inwendige hoek van puntdeuren (scharnierzijde). Door deze fuikvorming kan de golfbelasting sterk toenemen. Als een dergelijke situatie kan optreden, dan kan met behulp van een fysisch of mathematisch model een uitspraak worden gedaan over de belastingconcentratie.

B5.7 Voorbeeld coupurekering

B5.7.1 Inleiding

In een waterkering langs een meer bevindt zich een twee eeuwen oude coupure. Het meer is een grote verbreding van de bedding van een rivier, waardoor de waterstanden variëren met de afvoer van de rivier.

De coupure is van oudsher de toegang tot een aan het water gelegen stad. De coupure heeft de vorm van een zware metselwerkpoort. De deuren van de poort voldoen niet aan de huidige veiligheidsnormen en moeten worden vervangen door een nieuwe beweegbare waterkering. Eén van de alternatieven is een waterkerende hydraulische klep.

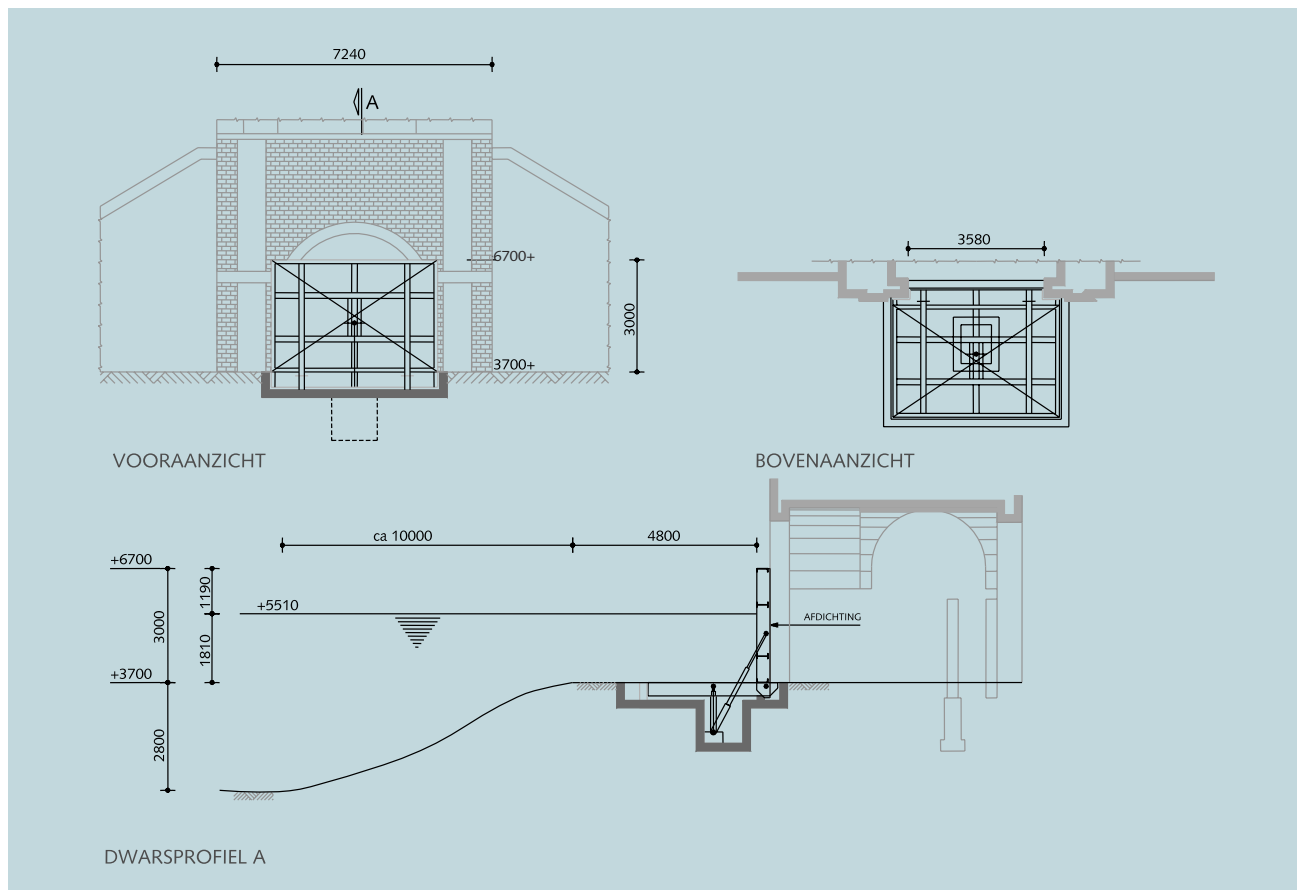
In figuur B5.8 staat dit alternatief nader uitgewerkt. Voor het dimensioneren van de klep moet de golfbelasting op de klep worden bepaald.

B5.7.2 Randvoorwaarden

Stap 1: geometrische randvoorwaarden

De diepte voor de constructie neemt over een afstand van ca 10 m toe

*Figuur B5.8
Coupure*



met ongeveer 2,8 m. Daarna is er sprake van een gelijke diepte over een zeer grote afstand.

De maatgevende windrichting staat loodrecht op de kering. Aangenomen wordt dat de windrichting en de golfrichting met elkaar overeenkomen. Dit is gerechtvaardigd, omdat er nauwelijks of geen refractie van de golven zal optreden.

Stap 2: waterstanden, stormduur, significante golfhoogte en golfperiode

Onder normale omstandigheden blijft de waterstand beneden NAP +3,70 m. Maatgevend hoogwater (MHW), inclusief bui-oscillaties en windopzet, bedraagt NAP +5,51 m.

De significante golfhoogte bedraagt $H_s = 0,53$ m, de piekperiode is $T_p = 3$ s en de gemiddelde golfperiode is $T_m = 2,6$ s.

Stap 3: geometrie van de constructie

De klep wordt aan beide zijden voorzien van een dichte beplating. Naast de klep bevinden zich verticale metselwerkwanden. Aangenomen mag worden dat er sprake is van een vlakke, verticale constructie met een berm van $B_M = 4,80$ m. De equivalente bermbreedte is gelijk aan de bermbreedte plus de halve taludlengte (zie ook figuur B5.5) en bedraagt $B_{eq} = 9,80$ m.

De hoogte van de drempel bedraagt $h'_b = 2,80$ m.

B5.7.3 Golfkrachten

Stap 4: ontwerpparameters

De ontwerpwaterstand is gelijk aan MHW. Dit impliceert een ontwerpwaterdiepte van $h = 4,61$ m

De ontwerpgolfhoogte bedraagt: $H_d = 2,2 \times H_s = 2,2 \times 0,53 = 1,16$ m.

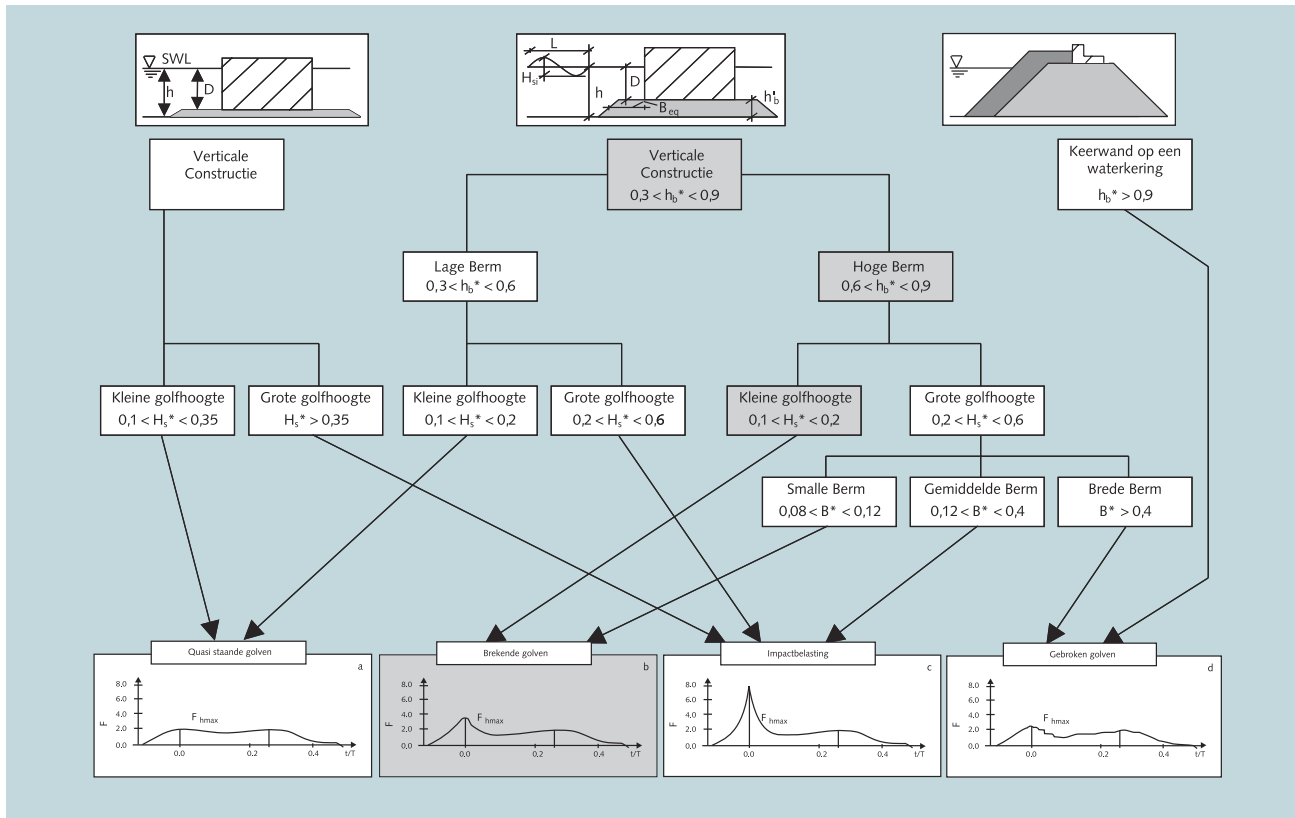
De ontwerpgolflengte kan worden bepaald met figuur B5.4. Bij een waterdiepte h van ca. 4,61 m en een (piek)periode van 3 s resulteert dit in een golflengte van ca 14 m.

Stap 5: keuze van het belastingmodel

De keuze van het belastingmodel is afhankelijk van de classificatie van de golfbelasting volgens paragraaf B5.4 (zie figuur B5.9), zoals hierna uitgevoerd. Hierin is:

$$h_b^* \left| \frac{h'_b}{h} \right| \frac{2,80}{4,61} \left| 0,61 \right. \quad \text{en} \quad H_s^* \left| \frac{H_s}{h} \right| \frac{0,53}{4,61} \left| 0,11 \right.$$

Uit de classificatie volgt dat er mogelijk brekende golven zullen optreden. Om deze reden zal het gemodificeerde model van Goda worden toege-



Figuur B5.9
Keuze belastingmodel
voorbeeld coupeure

past. Echter omdat er hier sprake van een grensgeval en is het wellicht mogelijk om ook de snellere methode van Sainflou toe te passen, temeer omdat deze conservatievere antwoorden geeft.

Stap 6: berekening van de belasting

Modificatiefactoren: Voor een vlakke verticale constructie op een berm geldt:

$$\zeta_1 \mid \zeta_2 \mid \zeta_3 \mid 1$$

Golfdrukcoëfficiënten:

$$\zeta_1 = \left| 0,6 \mid 2 \mid 0,5 \frac{4\phi h / L_d}{\sinh(4\phi h / L_d)} \right|^2$$

$$\mid 0,6 \mid 2 \mid 0,5 \frac{4 \phi \mid 4,61 / 14}{\sinh(4 \phi \mid 4,61 / 14)} \right|^2$$

$$\mid 0,61$$

$$\begin{aligned}
 \zeta^* & \quad | \quad \zeta_2 \\
 & \quad | \quad \min \left(\frac{14 D / h_b (H_d / D)^2}{3}, \frac{2D}{H_d} \right) \\
 & \quad | \quad \min \left(\frac{14 \cdot 1,81 / 4,61 (1,16 / 1,81)^2}{3}, \frac{2 \cdot 1,81}{1,16} \right) \\
 & \quad | \quad \min(0,08, 3,12) \quad | \quad 0,08
 \end{aligned}$$

N.B. h_b is de waterdiepte op $5H_d$ van de constructie, ofwel op ca. 5,8 m voor de klep. In dit rekenvoorbeeld is een enigszins conservatieve benadering gevolgd door deze diepte gelijk aan de diepte h voor de drempel te stellen.

$$\begin{aligned}
 \zeta_3 & \quad | \quad 14 \left(\frac{h'}{h} \right)^4 \frac{1}{\cosh(2\phi h / L_d)} \\
 & \quad | \quad 14 \left(\frac{1,81}{4,61} \right)^4 \frac{1}{\cosh(2\phi \cdot 1,81 / 14)} \\
 & \quad | \quad 0,71
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \xi^* & \quad | \quad 0,75(1,2 \cos(\eta)) \zeta_1 H_d \\
 & \quad | \quad 0,75(1,2 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 1,16 \text{ m} \quad | \quad 1,74 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \zeta_4 & \quad | \quad 14 \frac{h_c^*}{\xi^*} \\
 & \quad | \quad 14 \frac{1,19}{1,74} \quad | \quad 0,32
 \end{aligned}$$

Horizontale Golfdruk:

$$\begin{aligned}
 p_1 & \quad | \quad 0,5(1,2 \cos(\eta))(\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \zeta_4 \cos^2(\eta)) \rho g H_d \\
 & \quad | \quad 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,08 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,16 \text{ N/m}^2 \\
 & \quad | \quad 7,85 \text{ kN/m}^2 \\
 p_3 & \quad | \quad \zeta_3 p_1 \\
 & \quad | \quad 0,71 \cdot 7,85 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad | \quad 5,57 \text{ kN/m}^2 \\
 p_4 & \quad | \quad \zeta_4 p_1 \\
 & \quad | \quad 0,32 \cdot 7,85 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad | \quad 2,51 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Resulterende horizontale belasting per meter breedte:

$$P_{Goda} = \left| \frac{P_1}{2} \frac{2}{2} \frac{P_4}{2} \right| h_c^* \frac{P_3}{2} \frac{2}{2} \frac{P_1}{2} \left| h' \right|$$

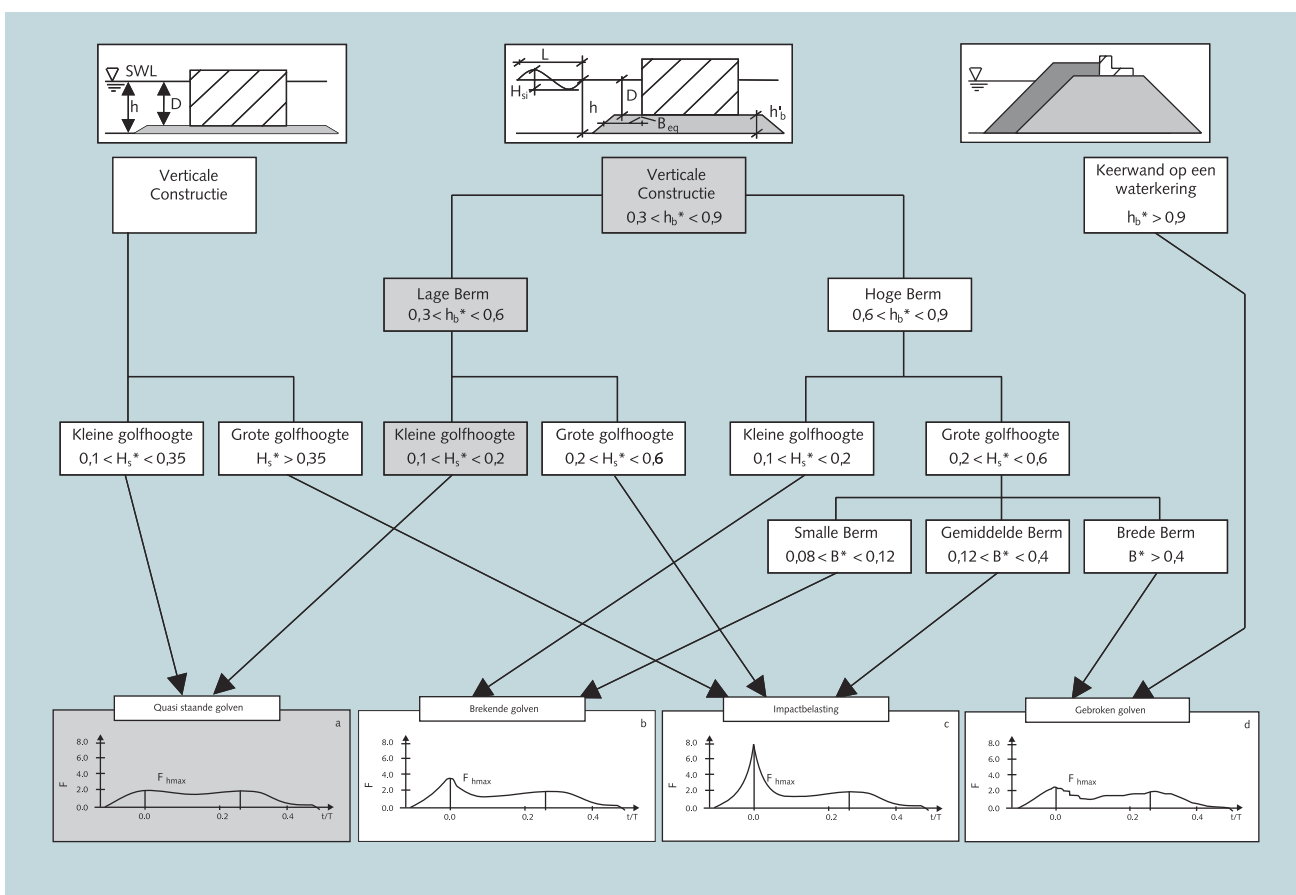
$$= \left| \frac{7,85}{2} \frac{2}{2} \frac{2,51}{2} \right| 1,19 \frac{5,57}{2} \frac{2}{2} \frac{7,85}{2} \left| 1,81 \right|$$

$$= 18,3 \text{ kN/m}^l$$

B5.7.4 Alternatieve berekening van de golfbelasting

Bij stap 5 van B5.7.3 is reeds gemeld dat een berekening met de methode van Sainflou waarschijnlijk ook had gekund. Bij de berekening van de golfdrukcoëfficiënten is dit bevestigd door de relatief kleine waarde van α_2 . De minder strikte classificatie is weergegeven in figuur B5.10.

Figuur B5.10
Keuze belastingmodel
alternatieve berekening



Horizontale golfdruk volgens de methode van Sainflou:

De methode van Sainflou gaat uit van de gereflecteerde golf. De golfhogte van de gereflecteerde golf is:

$$H_{d,refl} = (1,2 \theta) H_d = (1,2 \cdot 1) 1,16 = 2,32 \text{ m}$$

Bij de berekening van de verhoging van de middenwaterstand wordt de waterdiepte voor de berm ingevoerd, omdat de golflengte aanzienlijk groter is dan de bermbreedte.

De verhoging van de middenwaterstand bedraagt:

$$\xi_0 = \frac{1}{2} k a_{kw}^2 \coth(kh) = \frac{1}{2} \frac{2\phi}{14} (1,16)^2 \left[\coth \left(\frac{2\phi}{4} \right) (4,61) \right] = 0,31 \text{ m}$$

De maximale druk is:

$$p_1 = \rho g (a_{kw} + 2 \xi_0) = 1000 \cdot 9,81 (1,16 + 2 \cdot 0,31) = 14,42 \text{ kN/m}^2$$

De druk aan de bodem bedraagt:

$$p_0 = \frac{\rho g a_{kw}}{\cosh(kh')} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 1,16}{\cosh \left(\frac{2\phi}{4} \right) (1,81)} = 8,44 \text{ kN/m}^2$$

De druk aan de bovenzijde van de klep is:

$$p_4 = \left(\frac{4}{\pi} \frac{h_c}{\xi_0 + 2 a_{kw}} \right) \left(p_1 = \left(\frac{4}{\pi} \frac{1,19}{1,47} \right) (14,42) + 2,75 \right) \text{ kN/m}^2$$

De golfkracht per strekkende meter breedte volgens de methode van Sainflou bedraagt nu:

$$P_{\text{Sainflou}} = \frac{p_1 + p_4}{2} \cdot h_c = \frac{p_1 + p_0}{2} \cdot h' = \frac{14,42 + 2,75}{2} \cdot 1,19 = \frac{14,42 + 8,44}{2} \cdot 1,81 = 30,9 \text{ kN/m}$$

De kracht volgens de methode van Sainflou is dus ca. 70% hoger dan die berekend volgens de methode van Goda.

Waarschuwing: Hoewel in dit geval de berekening met de methode van Sainflou conservatiever is dan een berekening volgens de methode van Goda, is er waakzaamheid geboden in gevallen waarbij de classificatie van de golven toepassing van beide methoden mogelijk acht. Als bijvoorbeeld in het voorgaande geval de golfperiode 5 s zou bedragen in plaats van 3 s, dan zou de methode van Goda (32,4 kN/m) een grotere belasting geven dan die van Sainflou (30,4 kN/m).

- B5.1 Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van verkeer en Waterstaat
- B5.2 Random seas and Design of Maritime Structures, University of Tokio Press, Y. Goda, 1985
- B5.3 Collegehandleiding Windgolven, Technische Universiteit Delft, J.A. Battjes
- B5.4 Collegehandleiding Korte golven, Technische Universiteit Delft, J.A. Battjes
- B5.5 Design of Vertical Breakwaters, Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan, S. Takahashi et al, Reference Document No. 34, pp. 85, 1996. Reprint of Coastal Structures Short Course, 25th Intern. Conf. on Coastal Engineering, Orlando, USA, Sept. 1996
- B5.6 Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters, H. Oumeraci, N.W.H Allsop M.B. de Groot, R Crouch, J.K. Vrijling, A. Kortenhaus, H.G. Voortman, Volume IIa, McConnel, 2000
- B5.7 Handbook of Port and Harbour Engineering, T.P. Tsinker, Chapman & Hall, 1997

B6.1 Inleiding

Goed beheer van een waterkerend kunstwerk of waterkerende constructie begint bij een goed ontwerp. In het ontwerp moet men rekening houden met het toekomstige beheer en onderhoud van het kunstwerk, dat nodig is om gedurende de levensduur aan de waterkerende eisen te blijven voldoen. In deze bijlage worden aanknopingspunten gegeven voor de ontwerpuitgangspunten voor het beheer en onderhoud van het kunstwerk in relatie tot de waterkerende functie. Deze bijlage heeft dus alleen betrekking op beheer en onderhoud van het kunstwerk voor de functie waterkeren en niet op het beheer en onderhoud dat nodig is voor het vervullen van eisen met betrekking tot andere functies als spuien en schutten. Daarbij moet wel in het oog worden gehouden dat het onderhoud voor het behoud van de functie waterkering een duidelijke relatie heeft met het onderhoud dat wordt uitgevoerd ter behoud van andere functies.

Beslissingen over onderhoud moeten in verschillende fasen van een ontwerp worden genomen. In al deze fasen zijn hulpmiddelen voor het nemen van deze beslissingen voorhanden. Aangezien de beslissingen en de hulpmiddelen verschillen, is het ontwerpproces ingedeeld in de volgende fasen:

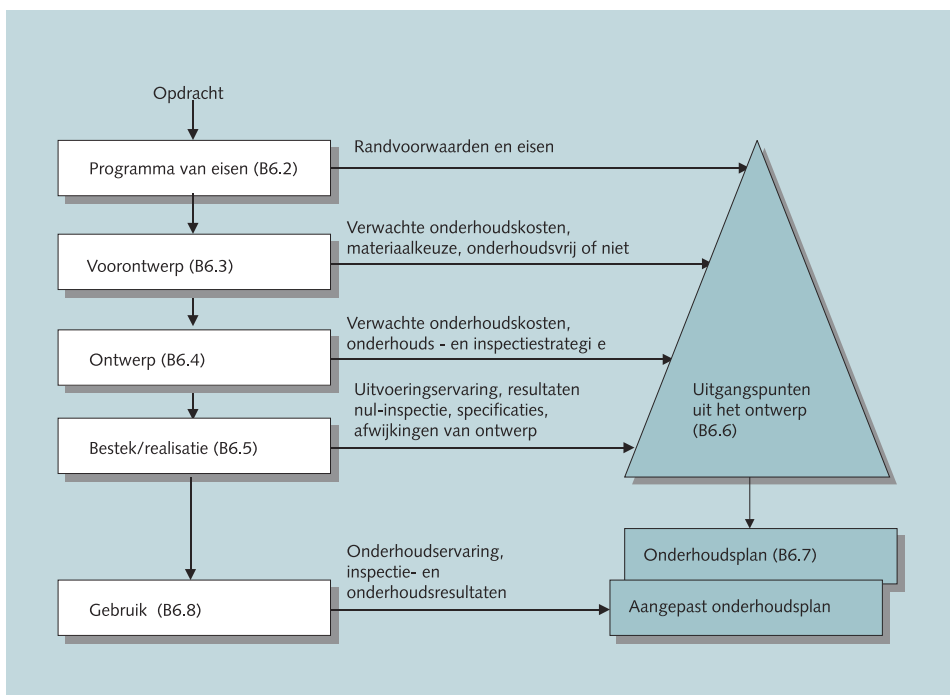
1. Het opstellen van het programma van eisen.
2. Het ontwerpen van de varianten en/of het maken van het voorontwerp. In deze fase worden varianten ontwikkeld en een keuze gemaakt tussen de varianten.
3. Het maken van het uiteindelijke ontwerp. In deze fase wordt de voorkeurvariant verder uitgewerkt.
4. Het realiseren van de constructie.

In de eerste twee fasen zijn vooral kwalitatieve aspecten van belang en in de derde fase kwantitatieve aspecten. Als er behoefte is aan een gedetailleerd uitgevoerd ontwerpproces, kan worden gekozen om ook bij het ontwerpen van de varianten al gebruik te maken van kwantitatieve methoden.

In alle fasen van het opstellen van het Programma van Eisen tot aan de oplevering van het waterkerende kunstwerk worden keuzes gemaakt, die invloed hebben op het benodigde onderhoud tijdens de levensduur. Deze keuzes vormen de basis van het onderhoudsplan en dienen daarom gerapporteerd te worden.

In figuur B6.1 is een overzicht gegeven van de informatie die tijdens het ontwerp, de uitvoering en het gebruik van het kunstwerk invloed heeft op de inhoud van het onderhoudsplan.

In deze bijlage wordt de rol van onderhoud in de verschillende fasen verder uitgelegd.



*Figuur B6.1
Totstandkoming onder-
houdsplan*

B6.2 Het opstellen van het Programma van Eisen

B6.2.1 Algemeen

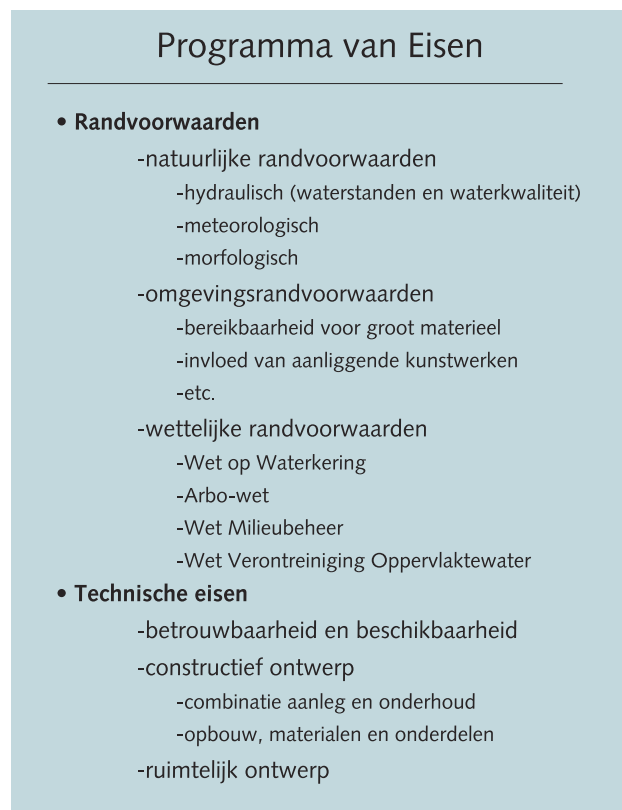
Het Programma van Eisen moet onder andere de randvoorwaarden en eisen ten aanzien van onderhoudsaspecten van het kunstwerk bevatten. Met het Programma van Eisen worden de grenzen aangegeven waarbinnen, in een later stadium, de ontwerpvarianten worden ontwikkeld. Het Programma van Eisen moet de randvoorwaarden geven om goede, onderhoudsbewuste keuzes te maken tijdens het (voor)ontwerp. De randvoorwaarden en eisen, die gerelateerd zijn aan onderhoud zijn opgenomen in de paragrafen B6.2.2 tot B6.2.5.

Onderdelen van het Programma van Eisen zijn:

- natuurlijke randvoorwaarden;
- omgevingsrandvoorwaarden;
- wettelijke randvoorwaarden;
- technische eisen ten aanzien van betrouwbaarheid en beschikbaarheid;
- technische eisen ten aanzien van het ruimtelijk ontwerp;

- technische eisen ten aanzien van het constructief ontwerp,
- Een beschrijving van de randvoorwaarden en de technische eisen is gegeven in de hierop volgende paragrafen.

Figuur B6.2
Onderdelen van
Programma van eisen,
die gerelateerd zijn aan
onderhoud



B6.2.2 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden, die invloed hebben op het onderhoud van een kunstwerk, zijn: natuurlijke randvoorwaarden, omgevingsrandvoorwaarden en wettelijke randvoorwaarden.

Natuurlijke randvoorwaarden

Natuurlijke randvoorwaarden bestaan uit:

- hydraulische randvoorwaarden, die invloed uitoefenen op de veroudering van onderdelen (en dus op de duurzaamheid van een onderdeel), zoals de optredende waterstanden en de waterkwaliteit. Bijvoorbeeld: in een omgeving met zout water zal corrosie van staal sneller optreden dan in een omgeving met zoet water;
- meteorologische randvoorwaarden, die invloed uitoefenen op de veroudering van onderdelen, zoals de wind;
- morfologische randvoorwaarden, die invloed uitoefenen op het benodigde baggerwerk bij bijvoorbeeld schutsluizen.

Omgevingsrandvoorwaarden

Omgevingsrandvoorwaarden zijn de randvoorwaarden die opgelegd worden door de omgeving, zoals de bereikbaarheid van de locatie over land of water voor groot materieel en/ of grote onderdelen. Ook kunnen randvoorwaarden worden opgelegd door aangrenzende kunstwerkcomplexen, zoals bijvoorbeeld het afstemmen van het onderhoud.

Wettelijke randvoorwaarden

Tot slot worden er ook wettelijke randvoorwaarden opgelegd, die invloed kunnen hebben op het onderhoud.

Vanuit de Wet op de Waterkering volgt dat ook tijdens de aanleg en de uitvoering van onderhoud de veiligheid van de waterkering voldoende gewaarborgd moet zijn. In de verschillende bouwfasen en overgangen tussen bouwfasen dienen met het oog hierop de nodige veiligheidsmaatregelen te worden getroffen. De uitvoering dient bij voorkeur in het open seizoen plaats te vinden. Bij uitvoering in het open seizoen mag de kruinhoogte worden verlaagd tot het niveau behorende bij de normfrequentie van de zomerhoogwaters. Een andere mogelijkheid is het treffen van extra voorzieningen om schade of erger te voorkomen.

Omdat de bouw van een waterkerend kunstwerk vaak een lange tijd in beslag neemt, zal het niet altijd mogelijk en/of wenselijk zijn om alleen tijdens het open seizoen te werken. In dat geval zal moeten worden aangetoond dat de genomen tijdelijke voorzieningen ook buiten het open seizoen voldoende veiligheid bieden.

Randvoorwaarden aan de manier waarop onderhoud moet worden uitgevoerd worden gesteld vanuit de Arbo-wet. Zo zijn er bijvoorbeeld verplichtingen met betrekking tot de bescherming van (onderhouds)personeel die invloed hebben op de onderhoudbaarheid en bereikbaarheid van onderdelen.

Verder volgen uit de milieuwetgeving eisen aan de keuze van bouwmaterialen en verbruiksmaterialen, aan beschermingssystemen en onderhoudstechnieken. Voorbeelden hiervan zijn het verbod op het gebruik van PAK-houdende verven en onderdelen (pakkingen, remvoeringen, etc.) waarin asbest is verwerkt. Ook moet rekening worden gehouden met de regelgeving met betrekking tot afvalstoffen. Deze randvoorwaarden zijn af te leiden uit het Bouwstoffenbesluit, de Wet Bodembescherming, de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater, Provinciale Milieuverordeningen en het algemene overheidsbeleid.

Daarnaast zijn er allerlei (NEN-) normen en richtlijnen die bij het ontwerp van een waterkerend kunstwerk gehanteerd worden, waaronder de Technische Grondslagen voor Bouwconstructies.

B6.2.3 Eisen m.b.t. betrouwbaarheid en beschikbaarheid

In de opdracht van een beheerder voor het ontwerp van een nieuw waterkerend kunstwerk of constructie moeten de functionele eisen waaraan het kunstwerk moet voldoen worden meegenomen.

De functionele eisen met betrekking tot de functie waterkeren houden in dat het waterkerende kunstwerk of de constructie zodanig moet worden ontworpen, gebouwd en onderhouden, dat de beoogde waterkerende functie gedurende de planperiode bij de vigerende ontwerp- en uitgangspunten met voldoende betrouwbaarheid wordt vervuld.

Behalve de betrouwbaarheid moet in de ontwerpopdracht ook de vereiste beschikbaarheid voor andere functies (indien van toepassing) van het kunstwerk worden opgelegd.

Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid voor de functie waterkeren is het vermogen om deze functie te vervullen in een bepaalde omgeving gedurende een van tevoren bepaalde periode, belastingswisselingen of gebeurtenissen. Eisen moeten onder andere worden gesteld aan de betrouwbaarheid van (hoofd)onderdelen ten aanzien van het waterkerend vermogen en de beschikbaarheid voor eventuele andere functies.

De eis ten aanzien van de betrouwbaarheid voor de functie waterkeren is geformuleerd als een maximaal geaccepteerde faalkans per jaar. Hieraan dient, zoals al aangegeven, ook in onderhoudssituaties te worden voldaan.

Uitgaande van de definitie van betrouwbaarheid moet bij het definiëren van de betrouwbaarheid voor de functie waterkeren worden aangegeven gedurende welke levensduur het kunstwerk deze betrouwbaarheid moet hebben. Er wordt veelal gekozen voor een levensduur van 100 jaar waarin kunstwerken hun functies moeten vervullen. Van deze levensduur kan worden afgeweken, omdat bijvoorbeeld gekozen is voor het gebruik van een economisch optimale levensduur of omdat rekening wordt gehouden met eventuele toekomstige aanpassingen van de functie-eisen gedurende de levensduur. De levensduur kan op verschillende manieren worden bepaald.

Standaardaanpak

Bij het opstellen van het functionele programma van eisen moet door de beheerder/ opdrachtgever onder andere worden aangegeven wat de verwachte gebruiksduur van de te ontwerpen waterkerende constructie is. Op basis van deze gebruiksduur moet de ontwerplevensduur voor het constructieve programma van eisen worden gekozen. Bij het kiezen van de ontwerplevensduur kan worden aangesloten op bestaande richtlijnen en normen. Bij afwezigheid van dergelijke richtlijnen en normen wordt de ontwerplevensduur gekozen op basis van de ervaring van de opdrachtgever.

De uitgangspunten met betrekking tot de gebruiksduur en de ontwerplevensduur dienen na het ontwerp van de constructie duidelijk onderdeel te zijn van de informatie die aan de toekomstig beheerder wordt overgedragen.

Geavanceerde aanpak

Meer geavanceerde methoden, waarmee de gewenste ontwerplevensduur bepaald kunnen worden zijn: optimalisatie van alle verwachte uitgaven gedurende de gewenste levensduur of gebruik van historische gegevens. Voordat echter gekozen wordt voor de toepassing van dergelijke methoden, moet de ontwerper nagaan of het verschil in levensduurkosten bij verschillende levensduren groot genoeg is om de ontwerplevensduur te optimaliseren.

Om de levensduurkosten te kunnen schatten is informatie nodig omtrent de kosten voor het beheer en onderhoud van het kunstwerk. Een toe te passen methode is het gebruik van een percentage van de stichtingskosten of het maken van een schatting op basis van in het verleden opgedane kennis. Met andere methoden is nog weinig ervaring opgedaan.

Deze levensduur kan echter niet één op één voor alle onderdelen van damwanden, kistdammen, dijkmuur, sluis, coupures en terugslagkleppen in gemalen e.d. worden overgenomen. Ook zijn er normen die uitgaan van een andere maximale levensduur.

In het ontwerp moet daarom onderscheid worden gemaakt tussen onderhoudsvrije en onderhoudsbehoevende onderdelen. Onderdelen die moeilijk te vervangen en/of te onderhouden zijn, moeten worden ontworpen op een levensduur vergelijkbaar met de levensduur van het kunstwerk. Voorbeelden zijn de sluishoofden en –kolken en onder- en achterloopsheidschermen.

Onderdelen die gemakkelijk te vervangen zijn, kunnen worden ontworpen met een kortere levensduur. De levensduur wordt bepaald op basis van de minimale (gedisconteerde) kosten van aanleg, onderhoud en

vervanging gedurende de levensduur van het kunstwerk. Voorbeelden van makkelijk vervangbare onderdelen zijn deuren, bewegingswerken en elektrische installaties.

Om aan de vereiste betrouwbaarheid te voldoen moet een zodanig niveau van onderhoud worden aangehouden, dat het kunstwerk tot het moment van de volgende geplande onderhoudsactiviteit met voldoende zekerheid aan de eisen blijft voldoen. De invloed van onderhoud op de faalkans van onderdelen is echter moeilijk te kwantificeren. Vaak is het wel mogelijk om enkele uitersten aan te geven in de vorm van maximale en minimale onderhoudsintervallen voor vaker voorkomende en/of gecategoriseerde onderdelen.

Strengere eisen met betrekking tot de betrouwbaarheid voor de functie waterkeren kunnen leiden tot bijvoorbeeld een tweede set deuren in een spuisluis, zodat tijdens onderhoud aan de deuren de sluis blijft voldoen aan de betrouwbaarheidseisen. Ook kan worden gedacht aan mogelijkheden voor handmatige bediening of de aanleg van een noodstroomvoorziening. Om tijdens het ontwerp het effect van het inbouwen van redundantie te kunnen meten, kan gebruik worden gemaakt van foutenbomen of gebeurtenissenbomen.

Beschikbaarheid

Behalve de functie-eisen voor de functie waterkeren kunnen aan een kunstwerk ook functie-eisen voor andere functies worden gesteld. Deze functie-eisen worden veelal uitgedrukt in de beschikbaarheid voor het vervullen van de functie.

De constructie, of onderdelen daarvan, kunnen zowel gepland als niet gepland niet-beschikbaar zijn. Niet gepland niet-beschikbaar zijn kan worden veroorzaakt door natuuumstandigheden (bijvoorbeeld overschrijding van de ontwerpwaterstand), door het falen van onderdelen, door calamiteiten (bijvoorbeeld aanvaring) of door het falen van de bediening. Een constructie kan gepland niet beschikbaar zijn door inspecties of geplande onderhoudswerkzaamheden.

B6.2.4 Eisen met betrekking tot het constructief ontwerp

Combinatie onderhoud en aanleg

Een belangrijke eis ten aanzien van onderhoud, die in de ontwerpopdracht van een waterkerend kunstwerk of constructie moet worden meegenomen, is de eis om te komen tot een *optimale combinatie van de*

kosten van aanleg plus onderhoud van de constructie en de baten van de constructie gedurende een langere periode voor de verschillende te vervullen functies. In het volgende overzicht zijn enkele ontwerp opdrachten gegeven, waarmee dit optimum kan worden behaald.

Ontwerpopdracht, waarin gestreefd wordt naar een optimale combinatie van aanleg en onderhoud

1. Documenteer tijdens het ontwerp de uitgangspunten zorgvuldig.
2. Houd in het ontwerp rekening met het systematisch uitvoeren van inspecties en documenteer tijdens het ontwerp de uitgangspunten zorgvuldig.
3. Houd in het ontwerp rekening met harmonisatie van onderhoudswerkzaamheden en documenteer tijdens het ontwerp de uitgangspunten zorgvuldig.
4. Maak een ontwerp met minimale (gedisconteerde) levensduurkosten.
5. Maak een ontwerp dat tijdens de levensduur kan worden onderhouden volgens een vooraf gedefinieerd onderhoudsbudget per jaar.

1. Maak een ontwerp en documenteer de ontwerpuitgangspunten zorgvuldig. Dit is een eis die bij elke ontwerp opdracht moet worden gesteld. De eisen waaraan de documentatie van de ontwerpuitgangspunten moet voldoen, zijn opgenomen in paragraaf B6.6.
Na totstandkoming van het ontwerp worden de gedocumenteerde ontwerpuitgangspunten gebruikt om de inspecties en het onderhoud gedurende de levensduur te optimaliseren. Bijvoorbeeld door een onderhoudsstrategie op te stellen, waarin de (gedisconteerde) levensduurkosten minimaal zijn.
2. Maak een ontwerp, waarin rekening is gehouden met de mogelijkheid om inspecties systematisch uit te voeren. De inspecties kunnen bijvoorbeeld geharmoniseerd worden uitgevoerd, gezamenlijk worden gehouden met de toetsing van de waterkering of worden geïntegreerd in de schouw. Hierdoor worden de inspectiekosten geminimaliseerd en kan in het ontwerp rekening worden gehouden met het feit dat de conditie van het kunstwerk regelmatig wordt beoordeeld. Wel moet men in het ontwerp rekening houden met de kans op het (niet) signaleren van opgetreden schade tijdens een inspectie.
3. Maak een ontwerp, waarin de onderhoudsacties geharmoniseerd kunnen worden uitgevoerd. Door het tegelijkertijd onderhouden van de onderdelen van een kunstwerk kunnen kosten worden bespaard en kan de niet-beschikbaarheid van het kunstwerk beperkt worden tot

enkele (langere) perioden. Ook kan gekozen worden om het onderhoud af te stemmen op het onderhoud in het omliggende areaal (bijvoorbeeld het dijkonderhoud). Ook hiermee kunnen onderhoudskosten worden bespaard en is de niet-beschikbaarheid van het kunstwerk en bijvoorbeeld de aanliggende dijk gekoppeld.

4. Maak een ontwerp, waarin de som van de (gedisconteerde) levensduurkosten minimaal is. Levensduurkosten zijn de stichtingskosten, de inspectie- en onderhoudskosten (inclusief kosten van vervanging van onderdelen), de beheerkosten en de risicokosten van falen.
5. Maak een ontwerp dat tijdens de levensduur kan worden onderhouden volgens een vooraf gedefinieerd onderhoudsbudget per jaar. Bij het geven van de opdracht tot ontwerp worden eisen gesteld aan het benodigde budget voor onderhoud gedurende de levensduur en de bijbehorende planning (het gemiddelde onderhoudsbudget per jaar en budget voor renovaties en vervangingen, de zogenaamde kostenolifanten). Dit budget heeft directe gevolgen voor de materiaalkeuze en de verwachte levensduur van de onderdelen. Bij het stellen van deze eisen moet de opdrachtgever zich wel realiseren dat het benodigde onderhoud voor een groot deel wordt bepaald door de eisen aan de sterkte en stabiliteit van waterkerende kunstwerken en de eisen aan de betrouwbaarheid van de sluiting van de kering; de speelruimte is dus beperkt.

Als wordt gekozen om de (ontwerp- en) bouwopdrachten aan een onderhoudsverplichting voor minstens 10 jaar te koppelen, moet ook een optimale combinatie van aanleg en onderhoud worden nagestreefd. Onderscheid moet dan gemaakt worden tussen het onderhoud in de eerste periode en later. Het koppelen van de (ontwerp- en) bouwopdrachten aan een onderhoudsverplichting is een manier om de aannemer te motiveren om dezelfde doelstelling (een duurzaam ontwerp) als de opdrachtgever na te streven.

Opbouw constructie, materialen en onderdelen

Naast het komen tot een optimale combinatie van aanleg en onderhoud kunnen ook eisen worden gesteld aan de opbouw van de constructie en aan de te gebruiken materialen of typen onderdelen. Deze eisen helpen de ontwerper bij het maken van keuzen in het constructief ontwerp ten aanzien van materialen en de vorm en afmetingen van de constructie.

Voorbeelden van aspecten waar eisen aan kunnen worden gesteld zijn:

- de mogelijkheid om in de toekomst (onderdelen van) het kunstwerk aan te passen en de bijbehorende moeilijkheidsgraad;

- de mogelijkheid om de conditie van het kunstwerk te inspecteren en de conditie te meten. Zo wordt ervoor gezorgd dat een constructie(onderdeel) met een waterkerende functie niet onverwacht bezwijkt zonder dat daarvan voortekenen waarneembaar zijn;
- de mogelijkheid om constructiedelen te (de)monteren zonder dat (een groot deel van) de constructie verwijderd moet worden;
- de snelheid waarmee onderdelen kunnen worden vervangen. Gekozen kan worden voor het in voorraad houden van niet-onderhoudsvrije onderdelen, die een lange levertijd kennen;
- de mogelijkheid om het onderdeel uit te wisselen met reserveonderdelen of vergelijkbare onderdelen in het kunstwerk;
- de beschikbaarheid/mogelijkheid tot verkrijgen van de niet-onderhoudsvrije onderdelen gedurende de levensduur in verband met het vervangen van onderdelen;
- de bereikbaarheid van onderdelen als aansluitingen, koppelingen, smeerpunten en schakelaars door middel van bordessen en trappen. Hierbij moeten bijvoorbeeld zware luiken en klimladders zoveel mogelijk worden vermeden. Een te inspecteren onderdeel moet goed en veilig bereikbaar zijn. Als een onderdeel slecht kan worden bereikt en er is wel inzicht in het conditieverloop nodig dan moet worden overwogen om automatische monitoring toe te passen;
- de mogelijkheid om door het eigen onderhoudspersoneel inspecties of onderhoudsmaatregelen uit te kunnen laten voeren of storingen te verhelpen (zodat niet voor alle werkzaamheden een aannemer nodig is);
- de mogelijkheid om tijdens inspecties en onderhoud de verminderde beschikbaarheid voor eventuele andere functies te beperken. Zorg ervoor, dat tijdens inspectie en onderhoud geen stremmingen voor de scheepvaart en files voor het landverkeer worden veroorzaakt;
- de mogelijkheid om onderhoud efficiënt uit te kunnen voeren. Zo kan geëist worden dat een extra set deuren wordt geleverd en een voorstel voor een deurenwisselschema. Ook kunnen bijvoorbeeld extra voorzieningen worden geëist ten aanzien van het kunnen droogzetten van een kolk;
- de mogelijkheid om in of nabij het kunstwerk onderhoudswerk uit te voeren of onderdelen op te slaan door het opnemen van de werk- en opslagruimten voor reserveonderdelen e.d. in het ontwerp.

B6.2.5 Eisen met betrekking tot het ruimtelijk ontwerp

Bij het ontwerp van een kunstwerk moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van beheer en onderhoud en eventuele latere aanpassingen op veranderende randvoorwaarden en/of functies. Dit leidt naast eisen aan het constructief ontwerp doorgaans ook tot eisen ten aanzien van het ruimtelijk ontwerp.

In het ruimtelijke ontwerp moet rekening worden gehouden met de noodzaak van versterkingen van een constructie in de toekomst (bijvoorbeeld ten gevolge van hoogwaterstijging) om het veiligheidsniveau te kunnen handhaven. Voor de uitvoering van dergelijke werken is ruimte nodig; daarom is het wenselijk om in het ontwerp (indien mogelijk) een zone vrij te houden voor aanpassingen in de toekomst.

Ook moet ruimte worden gereserveerd, die nodig is om de waterkering te kunnen inspecteren. Dit betekent dat het kunstwerk en zijn directe omgeving goed bereikbaar en te inspecteren moeten zijn.

B6.3 Het ontwerpen en vergelijken van varianten

B6.3.1 Ontwerpen van varianten

Voor het ontwerpen van varianten zijn geen vaste regels te geven. Een grote rol is weggelegd voor de creativiteit en deskundigheid van de ontwerper. Omdat tijdens deze fase de varianten worden ontworpen waaruit later het uiteindelijke ontwerp wordt gekozen, is deze fase erg belangrijk en is in deze fase een hoop communicatie tussen de betrokkenen nodig.

Keuze tussen verschillende materialen en onderdelen

Tijdens het ontwerp van varianten moet per (hoofd)onderdeel een materiaal worden gekozen. De sterkte van waterkerende constructies wordt behaald door materialen, zoals staal, beton en/of hout, te gebruiken. Deze materialen zijn tegen veel grotere belastingen bestand dan een grondlichaam. De stabiliteit van het kunstwerk of de constructie als geheel kan worden geleverd door wrijving (keermuur met grond), door heipalen (keermuur op palen) en/of door inklemming in de bodem (kistdam). Bij het maken van de keuze van het materiaal voor een hoofdonderdeel moet de ontwerper meenemen dat het materiaal vaak een maatgevende invloed op de onderhoudskosten en –strategie heeft. Het mag echter niet zo zijn, dat toekomstig onderhoud verlamd gaat werken op het gebruik van nieuwe technieken en materialen in de te ontwerpen waterbouwkundige constructie. Richtlijnen en ontwerpbladen met betrekking tot duurzaam bouwen kunnen hulp bieden bij het maken van een keuze tussen verschillende materialen en onderdeeltypen.

Voordat een keuze voor een bepaald type onderdeel of voor een onderdeel van een bepaald materiaal wordt gemaakt, moet eerst per onderdeel worden bekeken of een onderdeel makkelijk te vervangen of te onderhouden is. Zo ja, dan kan gekozen worden voor onderdelen met een kortere levensduur dan de levensduur van het kunstwerk. Zo niet, dan

moeten de onderdelen dezelfde levensduur kennen als het kunstwerk. De eisen met betrekking tot de levensduur hebben verschillende gevolgen voor het ontwerp van de onderdelen met een waterkerende functie en onderdelen, die de stabiliteit van het kunstwerk beïnvloeden:

- beton kent veelal een lange levensduur. Verschillende typen beton kennen echter wel verschillende levensduren;
- de benodigde levensduur van stalen onderdelen, zoals schuiven en deuren, kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van overdikte, conservering en/of kathodische bescherming. Het accent ligt bij deze onderdelen meestal op het bijhouden van de conservering. Dit in tegenstelling tot stalen damwanden, die zodanig moeten worden ontworpen, dat de damwandconstructie voldoende stabiel en stijf gedurende de gehele levensduur is ondanks het materiaalverlies door corrosie;
- werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen, zoals installaties, aandrijvingen en kabels, kunnen veelal niet zodanig worden ontworpen dat ze gedurende de gehele levensduur aan de eisen voldoen. Het moment waarop onderhoud aan dergelijke installaties moet plaatsvinden, is veelal vastgelegd in voorschriften. Ondanks een zorgvuldig ontwerp en goed beheer en onderhoud kan het niet sluiten van de beweegbare kering nooit volledig worden uitgesloten. Energievoorziening kan door de aanwezigheid van een noodaggregaat en/of handbediening worden gewaarborgd. Ook deze onderdelen moeten worden geïnspecteerd en onderhouden;
- bij stroming door een kunstwerk kan de stabiliteit van een kunstwerk in gevaar komen door erosie, omdat er ontgrondingskuilen ontstaan en/of omdat deze groter worden. Ontgrondingen direct achter het kunstwerk kunnen worden voorkomen door het aanleggen van een stortebed. Deze stortebedden worden zodanig ontworpen dat ze de voorkomende stroomsnelheden kunnen weerstaan en er geen transport van onderliggend materiaal plaats kan vinden. Indien er sprake is geweest van een situatie met een bijzondere hoge belasting, zal het stortebed moeten worden geïnspecteerd. Het ontwerp moet echter zodanig zijn dat ook na het optreden van bijzondere belastingen geen onderhoud wordt voorzien;
- ook kan de stabiliteit van een kunstwerk in gevaar komen door grondwaterstroming onder en langs het kunstwerk, waardoor piping ontstaat. Piping kan worden voorkomen door een filter of een kwelscherm. Zo'n filter of kwelscherm moet zodanig worden ontworpen, dat geen onderhoud wordt voorzien tijdens de levensduur van het kunstwerk. Wel kan het nodig zijn om na bijzondere situaties een inspectie uit te voeren. Bij een op staal gefundeerde constructie, waarbij damwanden zijn toegepast als kwelscherm, moet aandacht worden besteed aan de aansluiting van de damwand op de constructie. Omdat de damwand waar-

schijnlijk geen zetting vertoont en het kunstwerk wel, moet een zettingsverschil opgenomen kunnen worden. Anders kan schade ontstaan aan het kunstwerk door scheurvorming.

Als een onderdeel makkelijk te vervangen en/of onderhouden is, kan deze worden ontworpen op basis van bijvoorbeeld minimale investeringen, onderhouds- en vervangingskosten tijdens de ontwerplevensduur van het kunstwerk. Voorbeelden van niet-onderhoudsvrije onderdelen zijn deuren, bewegingswerken en elektrische installaties.

Bij het ontwerpen van de varianten moet ook worden onderzocht of het noodzakelijk is om redundante systemen te ontwerpen en bouwen. Hierbij moet in het oog worden gehouden dat het ook mogelijk is om gebruik te maken van seizoensgebonden onderhoudswerkzaamheden (=buiten stormseizoen).

Richtlijnen voor beheer en onderhoud

Om de verschillende varianten in een later stadium met elkaar te kunnen vergelijken, moeten ze zijn voorzien van richtlijnen voor het beheer en onderhoud. Bij het schrijven van deze richtlijnen moet in gedachten worden gehouden, dat het kunstwerk gedurende de gehele levensduur aan de eisen met betrekking tot de waterkerende functie moet voldoen. De eisen, die aan waterkerende kunstwerken worden gesteld, hebben betrekking op: de kerende hoogte, de sluiting van de afsluitmiddelen, de sterkte van de afsluitmiddelen en de sterkte en stabiliteit van de constructieonderdelen.

Daarom wordt bij het ontwerpen van de varianten en het opstellen van de richtlijnen voor beheer en onderhoud de eis gesteld, dat de kans op het optreden van de volgende faalmechanismen tijdens de gehele levensduur 'voldoende' klein blijft:

- het verlies van de sterkte en stabiliteit van de bovenbouw, inclusief de keermiddelen;
- het verlies van de sterkte en stabiliteit van de fundering en ondergrond;
- het verlies van sterkte en stabiliteit van de overgangsconstructie (als gevolg van piping en erosie);
- het niet (tijdig) sluiten van de beweegbare kering.

Een voorbeeld van een faalmechanisme is het verlies van sterkte van de lassen in een stalen schuifconstructie als gevolg van vermoeiingsverschijnselen, die veroorzaakt worden door voortdurende dynamische belastingen bij (zware) stormvloeden.

B6.3.2 Vergelijken ontwerpvarianten

Multicriteria-analyse en kosten-batenanalyse

Na het ontwerpen van verschillende varianten van het waterkerende kunstwerk of constructie moeten deze varianten worden beoordeeld en vergeleken. In deze beoordeling en vergelijking kunnen ook criteria met betrekking tot onderhoud worden meegenomen. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van standaardonderdelen of de onderhoudskosten tijdens de levensduur.

Om criteria met betrekking tot onderhoud mee te nemen in de vergelijking van varianten moet een multicriteria-analyse en/of een kosten-batenanalyse worden toegepast. Deze analyses zijn vrij geavanceerde methodes en worden vaak pas ingezet als al een eerste selectie van de varianten is gemaakt.

In een kosten-batenanalyse worden alle effecten van een project systematisch ingeschat en zo mogelijk voorzien van een financiële waardering. Bovendien geeft een dergelijke analyse inzicht in alternatieven en onzekerheden. Meer informatie over het toepassen van kosten-batenanalyse in infrastructuur projecten kan men vinden in [Centraal planbureau en NEI; Evaluatie van infrastructuurprojecten, Leidraad voor kosten-batenanalyse; 2000].

In een multicriteria-analyse wordt uitgegaan van verschillende expliciete beoordelingscriteria, welke onderling sterk uiteen kunnen lopen. De scores voor de criteria worden weergegeven in verschillende eenheden. Om een dergelijke analyse toe te kunnen passen moeten de criteria in kwalitatieve zin in een rangorde worden geplaatst.

Inspectie- en onderhoudskosten

In een kosten-batenanalyse en/of multicriteria-analyse moeten de totale kosten gedurende de levensduur worden bepaald. De totale kosten van het kunstwerk bestaan uit de stichtingskosten, de inspectie- en onderhoudskosten (inclusief kosten van vervanging van onderdelen), de beheerkosten en de kosten van functieverlies (risicokosten).

In zijn algemeenheid geldt dat voor complexe civieltechnische werken over de gehele levensduur net zoveel geld wordt uitgegeven voor de instandhouding als is uitgegeven voor de totstandkoming. Er zijn bij het ontwerpen echter vaak nog maar weinig gegevens over de stichtingskosten per hoofdonderdeel en het bijbehorende onderhoud beschikbaar. Toch is het goed mogelijk om met behulp van een levenscyclusanalyse tot een optimaal ontwerp te komen.

Voor het vergelijken van verschillende ontwerpen of hoofdonderdelen kan volstaan worden met een berekening van de onderhoudskosten op basis van kostenkentallen. Kostenkentallen kunnen per hoofdonderdeel

worden uitgedrukt als percentage van de stichtingskosten; deze kentallen zijn echter niet geschikt voor optimalisatie van het ontwerp van de gekozen variant. Maar aangezien dan meer informatie beschikbaar is over het ontwerp, kunnen de onderhoudskosten ook meer gedetailleerd worden ingeschat. In het ideale geval zijn kostenkentallen beschikbaar per variabele onderhoudsmaatregel van verschillende onderdelen van kunstwerken. Momenteel worden deze kostenkentallen ontwikkeld bij de Bouwdienst van Rijkswaterstaat.

Discontering

Omdat de kosten van een kunstwerk in verschillende jaren worden gemaakt, kunnen ze moeilijk worden vergeleken. Een euro is over 10 jaar namelijk minder waard dan vandaag. Om een vergelijking van kosten in verschillende jaren toch mogelijk te maken, worden de kosten teruggerekend naar een basisjaar. Deze verdisconteerde kosten worden de contante waarde genoemd en als volgt berekend:

$$K_{\text{gedisconteerd}} = \frac{K_j}{(1+r)^j}$$

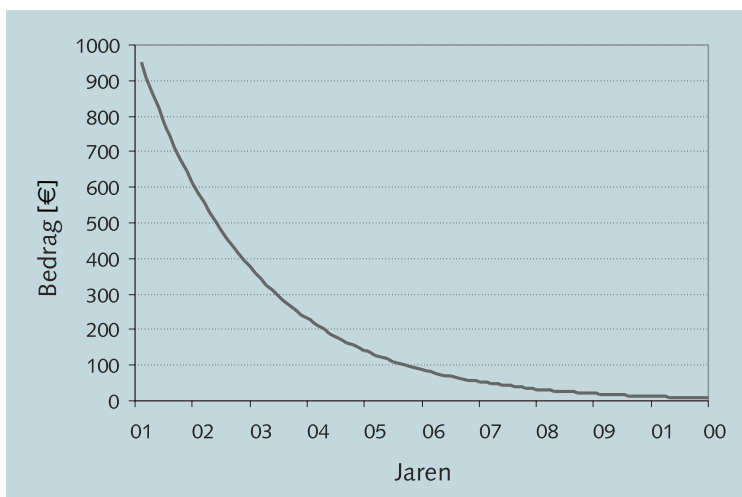
met: $K_{\text{gedisconteerd}}$ = de gedisconteerde kosten

K_j = de kosten in het jaar j

j = het aantal jaren na het basisjaar dat de kosten worden gemaakt

r = de reële rentevoet, oftewel de rentevoet minus de inflatie (binnen de overheid is afgesproken dat wordt gerekend met 4% per jaar)

Figuur B6.3
Duizend euro gedisc-
teerd naar basisjaar 0



De gediscoteerde kosten van een kunstwerk tijdens de levensduur bestaan uit de gesommeerde gediscoteerde stichtingskosten, inspectie- en onderhoudskosten (inclusief kosten van vervanging van onderdelen), beheerkosten en de kosten van functieverlies.

$$K_{\text{totaal, gediscoteerd}} = \sum_{j=0}^{j_l} \left(\frac{K_{\text{stichting}}}{(1+r)^j} + \frac{K_{\text{inspectie}}}{(1+r)^j} + \frac{K_{\text{onderhoud}}}{(1+r)^j} + \frac{K_{\text{beheer}}}{(1+r)^j} + \frac{K_{\text{functieverlies}}}{(1+r)^j} \right)$$

met: j = het jaar

j_l = jaar einde levensduur

$K_{\text{stichting}}$ = de stichtingskosten in het jaar j

$K_{\text{inspectie}}$ = de inspectiekosten in het jaar j

$K_{\text{onderhoud}}$ = de onderhoudskosten in het jaar j

K_{beheer} = de beheerkosten in het jaar j

$K_{\text{functieverlies}}$ = de risicokosten van functieverlies in het jaar j

De kosten ten gevolge van functieverlies zijn risicokosten en worden berekend door de kans op functieverlies in jaar j te vermenigvuldigen met de gevolgkosten daarvan in jaar j .

Een effect van het gebruik van de Contante Waarde is, dat door het effect van de rente de invloed van kosten gemaakt na een jaar of 50 te verwaarlozen zijn, waardoor de schatting van de kosten van buiten dit tijdvenster nauwelijks meer van invloed is op het resultaat.

B6.4 Het maken van het uiteindelijke ontwerp

B6.4.1 Ontwerpgeboden

Door tijdens het ontwerp (en in mindere mate ook tijdens het ontwerpen van varianten) gebruik te maken van de volgende ontwerpgeboden komt een onderhoudsbewust ontwerp tot stand.

Een onderhoudsbewust ontwerp is zo eenvoudig mogelijk en leidt tot een modulair opgebouwde constructie. Een constructie kan vereenvoudigd worden door zo weinig mogelijk onderdelen te gebruiken en het aantal bewegende delen te beperken. Door onderdelen in een logische structuur te groeperen en het aantal verbindingen tussen verschillende modules te beperken wordt een betrouwbaarder ontwerp gemaakt.

In een eenvoudig ontwerp zijn alle onderdelen voldoende toegankelijk voor inspecties en onderhoudswerkzaamheden en kunnen ze eenvoudig worden uitgenomen. Een van de voordelen van een eenvoudig ontwerp

is dat het zoeken naar storingen vereenvoudigt en de reparatietijden verkorten.

Ook het beperken van nodeloze verschillen tussen componenten helpt bij het komen tot een onderhoudsbewust ontwerp. Een mogelijkheid om nodeloze verschillen te voorkomen is het gebruik van gestandaardiseerde onderdelen; er is namelijk meer bekend over de belastbaarheid en onderhoudsbehoefte van dit type onderdelen.

In een onderhoudsbewust ontwerp zijn de onderdelen zodanig ontworpen dat degradatieprocessen, menselijke fouten en calamiteiten de betrouwbaarheid van de constructie zo min mogelijk beïnvloeden. De invloed van vochtigheid, trillingen e.d. in ruimtes wordt beperkt door klimaatbeheersing toe te passen. De gevoeligheid voor menselijke fouten kan worden verminderd door na te gaan hoe fouten tijdens onderhoud en bediening kunnen worden voorkomen en door het aantal benodigde acties beperkt kunnen worden. Elke onderhoudsactie kan immers leiden tot een sleutelfout (bijvoorbeeld het verwisselen of vergeten van kleine onderdelen). Daarom moeten activiteiten als smeren, schoonmaken en nastellen zoveel mogelijk automatisch worden uitgevoerd, mits hiervoor geen of eenvoudige en betrouwbare extra onderdelen nodig zijn. De ongevoeligheid voor schade kan worden bevorderd door rekening te houden met eventuele overbelastingsmogelijkheden (bijvoorbeeld aanvaringen en aanrijdingen). Leidend hierbij is dat een beschadigd onderdeel niet mag leiden tot het beschadigen van andere onderdelen. Verder zijn in een onderhoudsbewust ontwerp alle onderdelen zodanig ontworpen dat de conditie van het onderdeel eenvoudig kan worden vastgesteld.

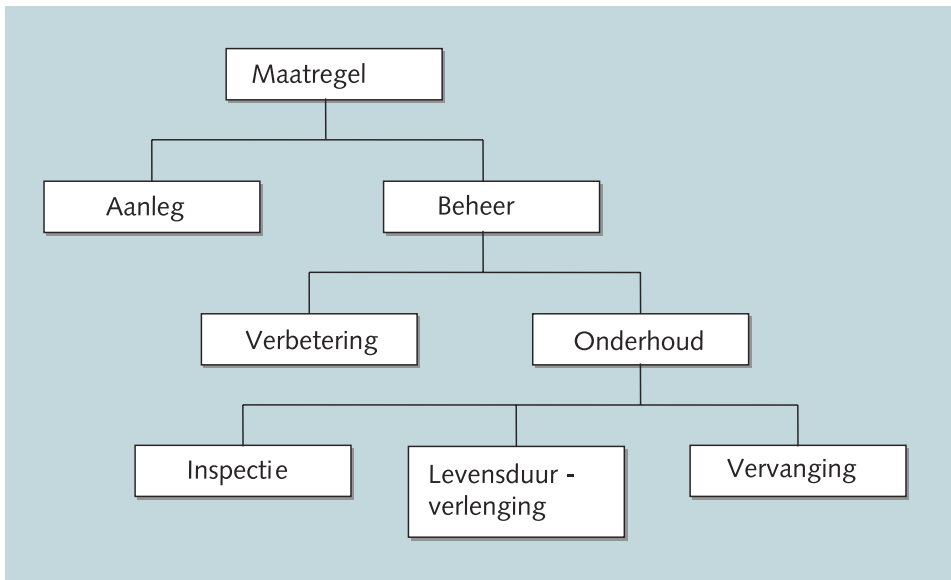
Door het vastleggen en opleveren van alle uitgangspunten gekozen tijdens het ontwerp, wordt de ontwerper gedwongen om na te denken over het onderhoud van het kunstwerk en weet de beheerder binnen welke randvoorwaarden het beheer en onderhoud tijdens de levensduur moet worden uitgevoerd.

B6.4.2 Onderhouds- en inspectiestrategieën

B6.4.2.1 Algemeen

Bij het maken van het uiteindelijke ontwerp moet de strategie voor alle soorten onderhoudsmaatregelen worden vastgesteld per onderdeel. Dit betreft zowel de inspecties, het levensduurverlengende onderhoud als vervanging.

In deze paragraaf is beschreven hoe deze strategieën moeten worden vastgesteld.



Figuur B6.4
Type maatregelen

B6.4.2.2 Onderhoudsstrategieën

Onderhoud kan zowel 'vast' als 'variabel' zijn. Vast of levensduurverlengend onderhoud is het geheel van maatregelen waarmee de veroudering wordt vertraagd, het falen wordt uitgesteld en de levensduur wordt verlengd. Voorbeelden zijn het schoonmaken, het smeren en het bijplekken. Vast onderhoud wordt regelmatig uitgevoerd, veelal in combinatie met een inspectie.

Variabel onderhoud bestaat uit maatregelen, waarbij de oorspronkelijke toestand van een objectonderdeel wordt hersteld door renoveren en/of vervangen. De oorspronkelijk door het object te vervullen functies veranderen niet.

Variabel onderhoud kent echter meerdere vormen. Bij het maken van het uiteindelijke ontwerp moet per (hoofd)onderdeel een keuze worden gemaakt tussen de verschillende onderhoudsstrategieën. Om hierbij te helpen wordt hierna kort beschreven en wordt een manier gegeven waarop een keuze tussen deze strategieën kan worden gemaakt.

Er worden twee typen variabel onderhoud onderscheiden: correctief onderhoud (ná falen) en preventief onderhoud (vóór falen).

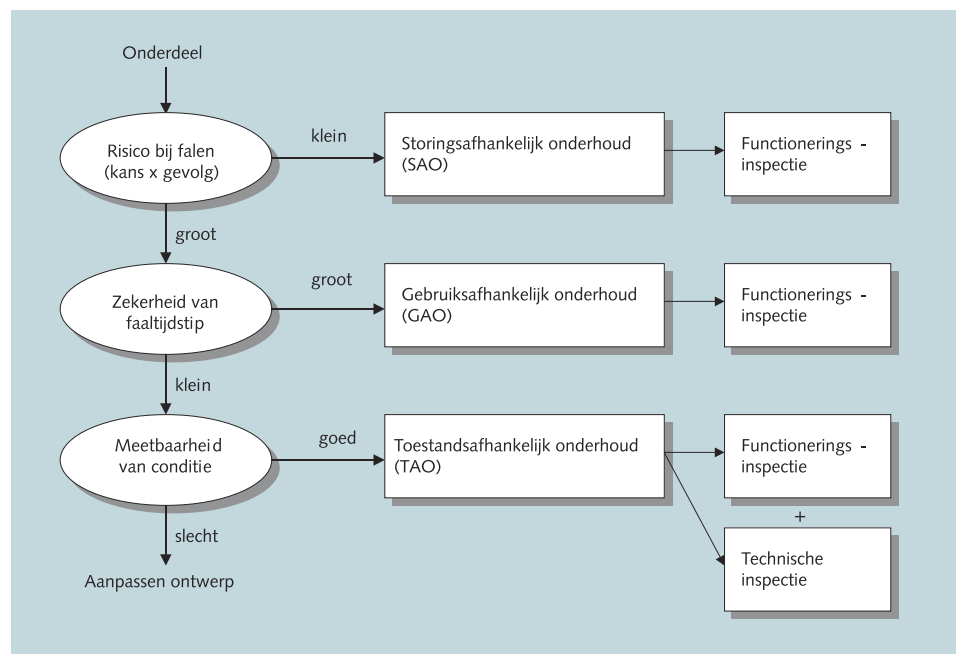
Correctief onderhoud wordt ook *StoringsAfhankelijk Onderhoud (SAO)* genoemd; er wordt dus pas onderhoud uitgevoerd nadat falen is opgetreden en geconstateerd.

Preventief onderhoud wordt onderverdeeld in:

- *GebruiksAfhankelijk Onderhoud (GAO)*, ook wel tijds- of belastingsafhankelijk onderhoud genoemd, dat wordt uitgevoerd na een vaste leeftijd, gebruiksduur of belasting. Een voorbeeld hiervan is het vervangen van straatverlichting na een vast aantal branduren of periode.
- *ToestandsAfhankelijk Onderhoud (TAO)*, dat wordt uitgevoerd op basis van de toestand, conditie of functionele kwaliteit van een objectonderdeel. Om dit type onderhoud toe te kunnen passen, moet het onderdeel regelmatig worden geïnspecteerd. Onderhoud wordt gepland en uitgevoerd als de toestand een bepaalde grens heeft overschreden of als wordt verwacht dat deze binnen een afzienbare periode wordt overschreden. Deze grens wordt het interventieniveau genoemd. Bij deze vorm van onderhoud kan het onderhoudsinterval en het inspectieinterval worden geoptimaliseerd aan de hand van de maximale faalkans. Behalve SAO, GAO en TAO komen er ook veel mengvormen voor.

De keuze tussen de verschillende onderhoudsstrategieën kan worden gemaakt met behulp van het beslisdigram in figuur B6.6.

Figuur B6.6
Beslisdigram onderhouds- en inspectiestrategie



Bij een klein risico voldoet StoringsAfhankelijk Onderhoud. In de waterbouwkunde zijn de maatschappelijke consequenties van het fysiek falen van constructies of onderdelen daarvan echter over het algemeen zó groot, dat onderhoud in die gevallen vrijwel altijd preventief van karakter is.

Als het risico bij falen inderdaad onaanvaardbaar groot is, moet worden bekeken of het faaltijdstip voorspelbaar is. Als het faaltijdstip met een maximale spreiding van circa één jaar kan worden voorspeld, kan worden uitgegaan van GebruiksAfhankelijk Onderhoud (GAO).

Als het faaltijdstip echter niet nauwkeurig kan worden voorspeld, moet worden nagegaan of de conditie goed kan worden bepaald met behulp van inspecties. Als de toestand van het te onderhouden object onderdeel goed kan worden geïnspecteerd en vastgelegd, wordt Toestands Afhankelijk Onderhoud toegepast.

Indien de toestand van het onderdeel slecht kan worden geïnspecteerd, het risico bij falen groot is en de zekerheid van het faaltijdstip klein is, is er sprake van een onacceptabele beheersituatie. Aanbevolen wordt dan om het ontwerp aan te passen.

Vaak kan al op grond van het type onderdeel een indicatie van de onderhoudsstrategie worden gegeven.

Werktuigbouwkundige installaties kennen vaak een onderhoudsvorschrift afkomstig van de leverancier. De in dit voorschrift genoemde termijnen worden vaak aangehouden zonder dat gekeken wordt naar de locatie en plaats in het kunstwerk. Werktuigbouwkundige installaties worden derhalve vaak gebruiksafhankelijk onderhouden.

Elektronische installaties hebben een veelal klein faalrisico in verhouding tot de kosten van inspectie en onderhoud, en kennen vaak een zelfwaarschuwend systeem in geval van falen. Veel van deze onderdelen worden daarom storingsafhankelijk onderhouden.

Civieltechnische onderdelen (staal en beton) zijn vaak lastig te vervangen en kennen een zeer verschillend verouderingsgedrag. Omdat het falen van dit type onderdelen vaak zeer grote gevolgen kent, worden ze vaak onderhoudsarm ontworpen met een kleine faalkans, en worden ze toestandsafhankelijk onderhouden. Beweegbare stalen onderdelen, zoals deuren en schuiven daarentegen kunnen wel worden vervangen. Omdat het risico bij falen van dergelijke onderdelen groot is en het faaltijdstip niet goed kan worden voorspeld worden deze onderdelen ook toestandsafhankelijk onderhouden.

Uit de voorgaande tekst blijkt, dat om de keuze te kunnen maken voor een bepaalde onderhoudsstrategie allereerst het risico bij falen moet worden bepaald. Dit risico is het product van de faalkans en de kosten van de gevolgen van falen. De faalkans is de kans op fysiek falen binnen een zekere periode (bijvoorbeeld een jaar of de levensduur).

In veel gevallen zijn faal- en veiligheidsnormen opgesteld om de kans op falen en de gevolgen van falen beter beheersbaar te maken; bij over-

schrijden van een dergelijke faal- of veiligheidsnorm spreekt men van normfalen. Faal- en veiligheidsnormen zijn onder andere terug te vinden in de Technische Grondslagen voor Bouwconstructies (TGB), NEN, EN en ISO normen en diverse CUR rapporten.

B6.4.2.3 Inspectiestrategieën

De keuze van een onderhoudsstrategie leidt tot een bepaald type inspecties (zie figuur B6.6).

In geval van *StoringsAfhankelijk Onderhoud* is er slechts behoefte aan storingssignalering. Als een storing automatisch wordt gesignaleerd zijn zelfs geen inspecties nodig. Als de storing niet automatisch wordt geregistreerd kan worden volstaan met een functioneringsinspectie.

In geval van *GebruiksAfhankelijk Onderhoud* moet het gebruik worden geregistreerd. Het gebruik van installaties wordt vaak automatisch geregistreerd (draaiuren) en doorgegeven. Als dit niet het geval is, kan het gebruik tijdens een functioneringsinspectie worden geregistreerd. Bij automatische registratie van een storing, het gebruik of de toestand zal nog steeds regelmatig een functioneringsinspectie moeten worden uitgevoerd om na te gaan of deze registratie juist is.

In geval van *ToestandsAfhankelijk Onderhoud* zijn zowel functionele als technische inspecties nodig. De technische inspecties zijn bedoeld om de conditie van het onderdeel te monitoren en te voorspellen, zodat tijdig een onderhoudsmaatregel kan worden gepland. Er wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke frequentie waarbij nog wel voldaan wordt aan de eisen met betrekking tot de veiligheid, beschikbaarheid en milieuzorg. (Voorbeeld: voor betonnen onderdelen wordt veelal 10 jaar aangehouden en voor stalen onderdelen 5 jaar.) Om de conditie van onderdelen goed te kunnen monitoren en voorspellen zijn onder andere nodig:

- verouderingsmodellen met het gevolg van veroudering voor de faalkans;
- interventieniveaus;
- inspectieinstructies;
- inzicht in het effect van onderhoudsmaatregelen.

Door met behulp van inspecties data te verzamelen over het verloop van de veroudering in de tijd, kunnen het onderhoud en de inspecties steeds beter worden gepland.

De functionele inspecties hebben onder andere tot doel om in de perioden tussen de technische inspecties eventuele dreigende calamiteiten tijdig te ontdekken.

B6.5 Realisatie

Behalve het ontwerp heeft ook de realisatie invloed op het onderhoud gedurende de levensduur van het kunstwerk. Tijdens de bouw ontstaan namelijk altijd verschillen ten opzichte van het ontwerp, die invloed hebben op het tijdens de levensduur benodigde onderhoud. Oorzaken van deze verschillen zijn bijvoorbeeld een onnauwkeurige uitvoering, wijzigingen tijdens de bouw en het gebruik van andere materialen en/of onderdelen dan voorgeschreven.

Duidelijk moet zijn dat de verschillen die ontstaan tijdens de realisatie alleen geaccepteerd worden als nog steeds aan de gestelde functionele en technische eisen wordt voldaan, zoals bijvoorbeeld de levensduur en betrouwbaarheid van onderdelen.

Om ervoor te zorgen dat het kunstwerk (en de onderdelen) aan de eisen voldoen, moet de kwaliteit tijdens de uitvoering beheerst worden. Dit kan door in het bestek alle (kwaliteits)eisen vast te leggen, zoals eisen aan de certificering van de aannemer en eisen aan de kwaliteit van materialen en onderdelen.

Om het onderhoud tijdens de levensduur op een onderbouwde manier te kunnen opzetten, moet de uitgangssituatie goed zijn vastgelegd. De uitgangssituatie wordt vastgelegd door:

- meegeleverde specificaties van onderdelen, beschrijvingen van de conditie waaronder ze gebruikt mogen worden, eventuele garanties (en garantievoorzaken) en beschrijvingen van de mogelijkheden om onderdelen te vervangen;
- de nul-inspectie, waarmee de beginsituatie van alle onderdelen wordt vastgelegd. Hiermee worden de geaccepteerde schades (indien aanwezig) vastgelegd en een referentie voor latere inspectieresultaten gecreëerd.

Daarnaast wordt tijdens de bouw kennis opgedaan, die ook van nut kan zijn tijdens onderhoudswerkzaamheden. Een voorbeeld hiervan zijn de (ruimtelijke) mogelijkheden om onderdelen te onderhouden en te vervangen, zoals de bereikbaarheid voor (zwaar) materieel en de noodzaak tot het plaatsen van hulpconstructies.

B6.6 Rapportage van ontwerpuitgangspunten

Om tijdens de levensduur van het kunstwerk te beschikken over de keuzes, die gemaakt zijn tijdens het uiteindelijke ontwerp, moet de ontwerper deze informatie overdragen aan de toekomstige beheerder van de con-

structie. De beheerder heeft deze uitgangspunten namelijk nodig bij het inrichten van het beheer en onderhoud tijdens de levensduur van de constructie (zoals beschreven in het onderhoudsplan). Dit is op de volgende manier vastgelegd in de Wet op de waterkering: de beheerder draagt zorg voor de vaststelling van een technisch beheerregister, waarin de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand nader zijn omschreven. Daarom moeten de kenmerken van het kunstwerk (tijdens het ontwerp en de aanleg) worden vastgelegd.

In de rapportage zijn opgenomen de ontwerpuitgangspunten en de daarop gebaseerde indicatie van de wenselijk of noodzakelijk geachte onderhoudsacties.

De ontwerpuitgangspunten bestaan uit alle functionele keuzes die gemaakt zijn tijdens het ontwerp. Deze uitgangspunten vormen, samen met eventuele aanpassingen gemaakt tijdens de bouw, de basis voor het beheer- en onderhoudsplan. Voorbeelden van uitgangspunten die onderdeel zijn van de informatie, die de ontwerper aan de toekomstige beheerder moet overdragen, zijn de betrouwbaarheid, de faalkans en de beschikbaarheid van de onderdelen (inclusief de gebruiksduur en de ontwerp levensduur) en de productspecificaties.

Behalve de ontwerpuitgangspunten moet in de rapportage ook een indicatie van de verwachte onderhoudskosten tijdens de levensduur worden gegeven en de tijdstippen waarop dit onderhoud moet worden uitgevoerd. Hoe specifiek deze onderhoudskosten moeten worden weergegeven is afhankelijk van de manier waarop het optimum voor de aanleg en het onderhoud moet worden bepaald. Bijvoorbeeld als de ontwerper de opdracht heeft gekregen om een ontwerp te maken op basis van de minimale totale kosten van ontwerp- en aanlegkosten, de (gedisconteerde) inspectie- en onderhoudskosten en beheerkosten zullen de verwachte onderhoudskosten gedetailleerd moeten worden aangegeven.

De beheerder/opdrachtgever heeft de keuze om de ontwerper opdracht te geven om enkel de ontwerpuitgangspunten en de verwachte onderhoudskosten te rapporteren of om daarnaast ook een onderhoudsplan inclusief de inspectie- en onderhoudsplanning op te leveren.

B6.7 Onderhoudsplan

B6.7.1 Inhoud

De rapportage van alle ontwerpuitgangspunten, die betrekking hebben op het onderhoud gedurende de levensduur, vormt samen met de

beheervisie de basis van het onderhoudsplan. De uitgangspunten voor ontwerp bestaan bij oplevering van het kunstwerk uit:

- de wenselijk of noodzakelijk geachte onderhoudsacties gebaseerd op de betrouwbaarheid, faalkans en beschikbaarheid van de onderdelen en de productspecificaties;
- de aanwijzingen met betrekking tot de onderhoudsplanning en de daarbij behorende kosten.

Het onderhoudsplan kan door de beheerder zelf worden gemaakt op basis van de ontwerpuitgangspunten of het maken van een onderhoudsplan kan integraal onderdeel uitmaken van de opdracht tot (ontwerp- en) uitvoering.

Een onderhoudsplan bestaat uit de volgende onderdelen:

- beschrijving kunstwerk; deze bestaat uit allerlei algemene informatie over het kunstwerk, zoals de naam van het object, de geografische ligging, de dijkkring waar het onderdeel van uitmaakt, het type kunstwerk, het bouwjaar en de beheerder;
- randvoorwaarden en eisen behorende bij het kunstwerk; deze worden afgelezen uit het Programma van Eisen;
- systeemanalyse (zie paragraaf B6.7.2);
- inspectie- en onderhoudsinstructies (zie paragraaf B6.7.3);
- inspectie- en onderhoudsplanning (zie paragraaf B6.7.3).

Alle onderdelen met uitzondering van de inspectie- en onderhoudsplanning zijn statische documenten. De inspectie- en onderhoudsplanning is een dynamisch document en zal gedurende de levensduur van een object regelmatig worden aangepast.

B6.7.2 Systeemanalyse

Bij het maken van een systeemanalyse hoort het opstellen van een decompositie, het maken van een faalkansanalyse en het verzamelen van areaalgegevens van het kunstwerk.

De decompositie van een kunstwerk is het opdelen van een kunstwerk in onderdelen, waar onderhoudsmaatregelen voor worden voorzien en gepland. Deze opdeling in onderdelen is nodig, omdat onderhoudsmaatregelen veelal betrekking hebben op slechts een deel van het kunstwerk.

Na het maken van een decompositie wordt met behulp van een faalkansanalyse van het kunstwerk de maximale faalkans per onderdeel bepaald. Deze faalkans is nodig voor het kiezen van een onderhoudsstrategie per onderdeel.

Vervolgens worden per onderdeel de areaalgegevens bepaald en kentallen aan het onderdeel gekoppeld. Areaalgegevens in een beheer- en onderhoudsplan bestaan uit beschrijvingen van alle onderdelen, die deel uitmaken van het kunstwerk en eventuele reserveonderdelen (zoals een reserve deur). Tot een beschrijving van een onderdeel horen de volgende onderwerpen:

- specificatie;
- verwijzingen naar tekeningen, handleidingen en/of aparte ontwerpdocumenten;
- garantie- en onderhoudsbepalingen;
- jaartal van oplevering;
- conditieparameter(s);
- conditie bij oplevering (resultaten nulinspectie en afnametesten);
- verwachte levensduur en verouderingsgedrag. Met de veroudering wordt bedoeld de wijze waarop de conditie van een onderdeel achteruit gaat in de tijd;
- onderhoudsstrategie per onderdeel (methode beschreven in paragraaf B6.4.1) en in geval van toestandsafhankelijk onderhoud het interventieniveau.

Bij bestaande 'eenvoudige' kunstwerken wordt soms gekozen om alleen een beperkte systeemanalyse en een inspectie- en onderhoudsplanung op te stellen. De areaalgegevens bestaan dan uit de hoeveelheid (bijvoorbeeld oppervlak) en de leeftijd van het onderdeel.

B6.7.3 Inspectie- en onderhoudsinstructies

Bij de gegevens over de onderdelen horen ook de instructies voor inspectie en onderhoud. Deze instructies hoeven geen onderdeel uit te maken van het onderhoudsplan, als hierin maar een verwijzing naar de inspectie- en onderhoudsinstructies is gegeven.

In de inspectieinstructies staat onder andere beschreven:

- de bereikbaarheid van het onderdeel en de mogelijkheden om een inspectie uit te voeren;
- de eventueel benodigde hulpconstructies;
- het type inspectie en de wijze van uitvoering;
- de wijze waarop de inspectie gerapporteerd moet worden;
- het interval waarmee de inspectie moet worden uitgevoerd en de kosten per inspectie.

In de onderhoudsinstructies is onder andere opgenomen:

- de bereikbaarheid van de verschillende onderdelen voor voertuigen, groot materieel en mensen;

- de mogelijkheid om kranen te plaatsen;
- de eventueel benodigde hulpconstructies, zoals steigers;
- de mogelijke uitwisseling van onderdelen;
- de te gebruiken materialen bij reparatie of vervanging;
- een beschrijving van de onderhoudswerkzaamheden. De werkzaamheden kunnen vervanging van een gehele onderdeel zijn, het deels vervangen van een onderdeel, reparatie van bijvoorbeeld scheuren, het eenmalig bijstellen (modificatie) na bijvoorbeeld 1 jaar, enz.;
- een indicatie van de kosten per onderhoudsmaatregel en een indicatie van het interval, waarmee de maatregel moet worden uitgevoerd. (Het daadwerkelijke interval is bij TAO afhankelijk van de gesignaleerde conditie van het onderdeel.);
- de benodigde voorzorgsmaatregelen om tijdens onderhoud te blijven voldoen aan de waterkerende eisen (zoals het plaatsen van schotbalken).

Informatie over onder andere verouderingsgedrag en onderhoudsmaatregelen, die gebruikt kan worden bij het opstellen van de inspectie- onderhoudsinstructies, is opgenomen in diverse CUR-rapporten en publicaties van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Daarnaast is vaak veel ervaringskennis aanwezig bij de beheerders van het waterkerende kunstwerk of constructie, die gebruikt kan worden bij het opstellen van inspectie- en onderhoudsinstructies.

B6.7.4 Inspectie- en onderhoudsplanning

De inspectie- en onderhoudsplanning van een kunstwerk is een overzicht met maatregelen voor inspecties, onderhoud en vervanging en voor de komende planperiode met daarbij gegeven de kosten. Een dergelijke planning kent een middellange termijn van 10 tot 20 jaar.

Intervallen en kosten van maatregelen

Met de in het onderhoudsplan voorziene inspectie- en onderhoudswerkzaamheden en bijbehorende intervallen moet ervoor zorggedragen worden, dat het kunstwerk tot het tijdstip dat het volgende geplande onderhoud wordt uitgevoerd voldoet aan de gestelde eisen. Met andere woorden, verwacht wordt dat de het kunstwerk tot aan de volgende geplande onderhoudsactiviteit voldoende betrouwbaar is; de kans op onderschrijden van het interventieniveau vóór de volgende onderhoudsactie is gepland is klein.

Standaard

Als per (hoofd)onderdeel eenmaal een keuze is gemaakt tussen de verschillende onderhoudsstrategieën, moeten per (hoofd)onderdeel de ver-

wachte inspectie- en onderhoudswerkzaamheden en de bijbehorende intervallen en kosten worden bepaald. Een eenvoudige manier hiervoor is het gebruik van ervaringsgetallen, kentallen of werkafspraken.

De Bouwdienst van Rijkswaterstaat beschikt bijvoorbeeld over kentallen voor verschillende typen onderdelen van kunstwerken; deze kentallen bestaan uit kosten en intervallen voor inspectie en onderhoud en zijn gebaseerd op landelijke gemiddelden. Deze kentallen zijn onderbouwd met kennis over verouderingsgedrag, stichtings- en onderhoudskosten en risicokosten van falen, en voorts met afkeurcriteria en modellen voor onderhoudsoptimalisatie.

Bij het gebruik van kentallen moet altijd nagegaan worden of deze ook van toepassing zijn op de lokale situatie en moeten indien gewenst aanpassingen worden gemaakt. Deze aanpassingen kunnen nodig zijn omdat het kunstwerk bijvoorbeeld te maken heeft met bijzondere (natuurlijke) omstandigheden, zoals een zout milieu of extreem zware verkeersbelastingen.

Geavanceerd

Een meer geavanceerde methode is het gebruik van onderhoudsmodellen om te komen tot een optimaal onderhoudsinterval. Het optimale onderhoudsinterval is het interval waarbij het interventieniveau wordt bereikt. Het interventieniveau is de conditie of kwaliteit van een onderdeel waarbij de onderhoudsmaatregel kostenoptimaal wordt uitgevoerd. De totale gediscoteerde kosten (bestaande uit de stichtingskosten, de inspectie- en onderhoudskosten en de risicokosten) zijn minimaal wanneer het onderhoud wordt uitgevoerd bij deze conditie of kwaliteit van het onderdeel. Het gebruik van een model waarmee het onderhoud wordt geoptimaliseerd is alleen zinvol voor onderdelen die niet vaak voorkomen en waar geen kentallen voor zijn. Een onderhoudsoptimalisatie is alleen zinvol voor (hoofd)onderdelen die kritiek zijn voor het functioneren van een waterbouwkundige constructie en/of waar onderhoudswerkzaamheden voor worden gepland (TAO).

Clusteren maatregelen

Nadat per onderdeel de benodigde maatregelen in de komende planperiode zijn bepaald, kunnen deze worden geclusterd. Door het clusteren van maatregelen kan de periode waarin het kunstwerk niet beschikbaar is voor zijn functies worden geminimaliseerd en kunnen kostenbesparingen worden gerealiseerd. Zo kan bijvoorbeeld voor verschillende werkzaamheden gebruik worden gemaakt van hetzelfde hulpmaterieel, zoals steigers. Indien tijdens werkzaamheden voor verschillende onderdelen gebruik moet worden gemaakt van schotbalken, kunnen deze werkzaam-

heden geclusterd goedkoper worden uitgevoerd.

Ook kunnen kosten worden bespaard door verschillende inspecties of inspecties van verschillende onderdelen te clusteren. Zo kunnen bijvoorbeeld de technische inspecties worden gecombineerd met de verplichte toetsing op veiligheid.

B6.7.5 Onderhoudsbegroting

Na het opstellen van de inspectie- en onderhoudsplanning moeten de hiervoor benodigde budgetten worden aangevraagd. Aangezien de inspectie- en onderhoudsplanning een dynamisch karakter heeft en elk jaar opnieuw moet worden bekeken welk budget nodig is, is het aanvragen van de budgetten een regelmatig terugkerende activiteit. Daarnaast heeft het wel of niet toekennen van de aangevraagde budgetten gevolgen voor de inspectie- en onderhoudsplanning.

De cycli rondom de onderhoudsbegroting van de waterschappen en Rijkswaterstaat verschillen en worden hierna kort uitgelegd.

Begrotingscyclus waterschappen

De financiering van het beheer van de waterkeringen ligt samen met de functies en verantwoordelijkheden vast in het beheerplan. Deze verplichte beheerplannen en de daarbij behorende meerjarenbegrotingen worden opgesteld door de waterschappen met behulp van de inspectie- en onderhoudsplanningen en beoordeeld door de betreffende provincie.

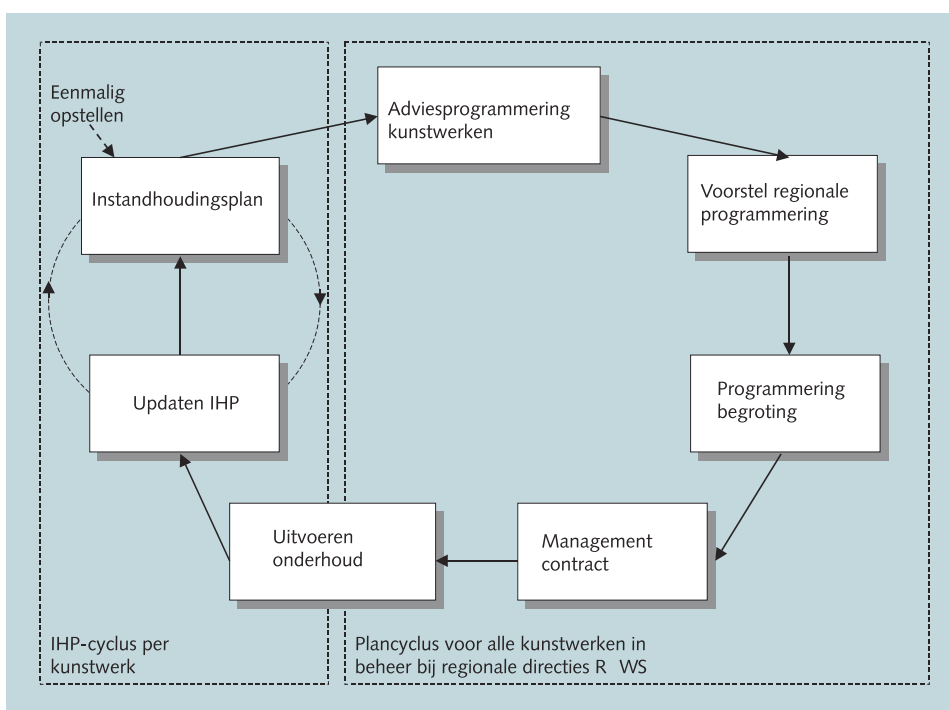
Instandhoudingsplansystematiek Rijkswaterstaat

In figuur B6.7 is de door Rijkswaterstaat toegepaste cyclus weergegeven, waarbinnen de onderhoudsplanning een belangrijke rol speelt. De planning van inspectie- en onderhoudsmaatregelen wordt bij Rijkswaterstaat een InstandhoudingsPlan (IHP) genoemd. Deze Instandhoudingsplannen worden voor alle kunstwerken in beheer bij Rijkswaterstaat gemaakt. In een instandhoudingsplan staan alle inspectie- en onderhoudsmaatregelen en bijbehorende kosten, die de komende 20 jaar nodig worden geacht. De in het instandhoudingsplan gehanteerde inspectie- en onderhoudsintervallen en bijbehorende kosten worden afgeleid van standaard uitgangspunten en, indien gewenst, aangepast aan de lokale situatie. Alle instandhoudingsplannen moeten regelmatig worden aangepast aan de hand van inspectieresultaten, uitgevoerd onderhoud, nieuw inzicht dat betrekking heeft op onderhoud (bijvoorbeeld verouderingsgedrag van onderdelen of nieuwe technieken). Bij elke technische inspectie wordt gekeken of het onderhoud op het juiste tijdstip gepland is; zo niet, dan wordt deze aangepast. De aan een maatregel verbonden kosten worden

enkele jaren voor uitvoering aangepast aan de hand van de resultaten van een besteksinspectie.

Elk jaar worden aan de hand van de instandhoudingsplannen de regionale maatregelpakketten samengesteld. Deze pakketten worden vervolgens samengevoegd tot een landelijk pakket, waarna de budgettoewijzing plaatsvindt. Na het uitvoeren van de binnen dit budget uit te voeren onderhoudsmaatregelen worden de instandhoudingsplannen weer bijgesteld (de toestand van het kunstwerk is immers verbeterd of onderhoud is uitgesteld en moet opnieuw in de planning worden opgenomen).

Figuur B6.7
*Instandhoudingsplan-
cyclus en plancyclus
Rijkswaterstaat*



Niet moet worden vergeten, dat er naast de geplande inspectie- en onderhoudsmaatregelen allerlei vaste werkzaamheden zijn, die niet worden opgenomen in de planning, maar die wel aanspraak maken op de benodigde budgetten. Hieronder vallen bijvoorbeeld het vast onderhoud, het dagelijks beheer van het kunstwerk en het oefenen van de mobilisatie- en bedieningsprocedures.

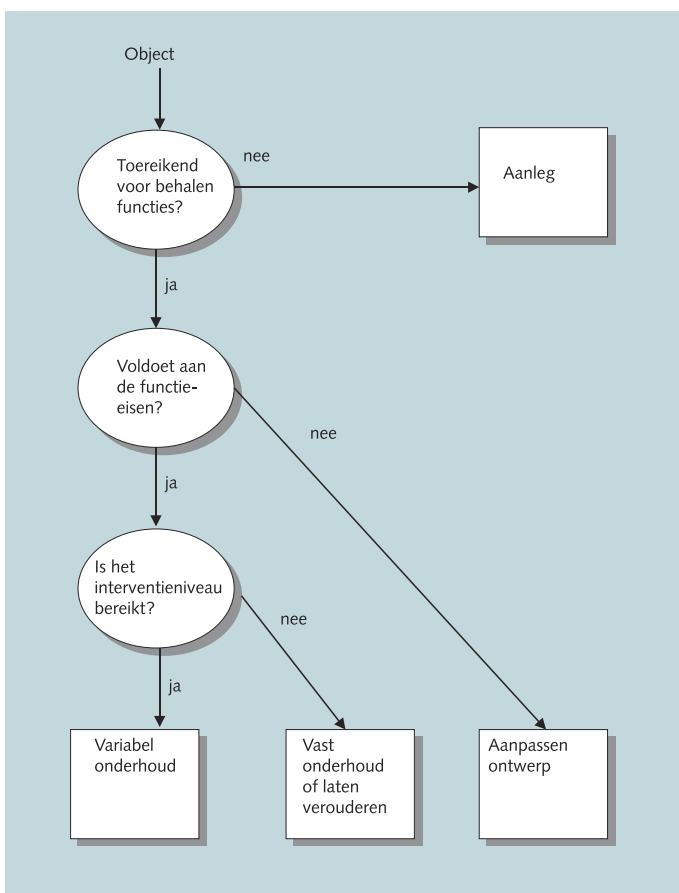
B6.8 Onderhoud tijdens gebruik

B6.8.1 Algemeen

Na oplevering van een waterkerende constructie zal deze met behulp van onderhoudsmaatregelen gedurende de levensduur zodanig in stand moeten worden gehouden, dat het blijft voldoen aan de eisen met betrekking

tot de functie waterkeren. Daartoe wordt de conditie van een kunstwerk in de gaten gehouden. Dit gebeurt met behulp van inspecties en bijbehorende evaluaties tijdens het dagelijks beheer. Daarnaast worden de waterkeringen elke 5 jaar getoetst op veiligheid.

De informatie over de conditie en de betrouwbaarheid van de kering wordt verkregen uit deze toetsing, het dagelijks beheer en uitgevoerde onderhoudsmaatregelen en is de voedingsbron voor de beschrijving en planning van vaste en variabele onderhoudsmaatregelen. Als bijvoorbeeld bij de toetsing blijkt dat de waterkering niet aan de wettelijke norm voldoet, dan is correctief onderhoud of vervanging (en herontwerp) van het kunstwerk noodzakelijk. Een beslisboom die als hulpmiddel kan dienen bij het bepalen van de noodzakelijke beheer- en onderhoudsmaatregel is gegeven in figuur B6.8.



*Figuur B6.8
Beslisboom bepalen
beheer- en onderhouds-
maatregel*

Na het vaststellen van de noodzakelijke onderhoudsmaatregelen wordt de maatregel gedimensioneerd en het bestek uitgewerkt. Vervolgens wordt het werk conform het bestek uitgevoerd. Na de uitvoering zal de infor-

matie omtrent de conditie en betrouwbaarheid van het kunstwerk moeten worden aangepast.

Het kan efficiënt zijn om inspecties en onderhoudsmaatregelen te clusteren voor meerdere onderdelen van een kunstwerk of zelfs van meerdere kunstwerken.

Als tijdens een inspectie blijkt dat de conditie van een (onderdeel van een) kunstwerk significant sneller of langzamer veroudert dan verwacht, kan het nodig zijn om het gedrags-/verouderingsmodel aan te passen en overeenkomstig ook het onderhoudsplan aan te passen.

B6.8.2 Uitvoeren van onderhoud

Tijdens het dimensioneren van een onderhoudsmaatregel en het maken van een bestek voor een onderhoudsmaatregel moet de beheerder nagaan of het kunstwerk tijdens het onderhoud ook aan de gestelde eisen met betrekking tot veiligheid voldoet.

Onderhoud aan niet-redundante waterkerende onderdelen wordt bij voorkeur in de zomer (buiten het stormseizoen) uitgevoerd. In deze periode is de kans op extreme belastingen en daardoor de kans op falen kleiner. Als daarentegen onderdelen van het kunstwerk redundant zijn ontworpen, kan wel gekozen worden voor onderhoud tijdens het stormseizoen.

B6.8.3 Uitvoeren van inspecties

Zoals reeds duidelijk is gemaakt in paragraaf B6.4.2 is de keuze van een inspectiestrategie gerelateerd aan de gekozen onderhoudsstrategie per (hoofd)onderdeel. In deze paragraaf werd echter alleen gesproken over functioneringsinspecties en technische inspecties, terwijl er meer typen inspecties bestaan.

Onderkend worden de volgende typen inspecties:

- de functioneringsinspecties (meestal visuele inspecties);
- de technische inspecties;
- de speciale inspecties.

Een functioneringsinspectie, die gericht is op het functioneren van het kunstwerk, is meestal een visuele inspectie, zoals de schouw.

Functioneringsinspectie zijn met name bedoeld om dreigende calamiteiten tijdig te kunnen signaleren, zoals bijzonderheden en deformaties van de bovenbouw.

De resultaten van functioneringsinspecties zullen meestal geen invloed hebben op de planning van de onderhoudsmaatregelen.

Bij een technische inspectie horen werkzaamheden als het meten van scheurvorming en deformaties, het uitvoeren van peilingen bij de bodemverdediging.

Onderdeel van de resultaten van een technische inspectie is een voorspelling van het gedrag van het onderdeel tot aan de volgende technische inspectie. Als verwacht wordt dat in deze periode het interventieniveau wordt overschreden, moet een onderhoudsmaatregel gepland worden. Als echter voorspeld wordt dat een onderdeel tot aan de volgende technische inspectie het interventieniveau niet zal overschrijden, moet worden geadviseerd eventueel reeds geplande onderhoudsmaatregelen door te schuiven.

Technische inspecties hebben als doel om de planning van maatregelen aan te passen en te verfijnen.

Speciale inspecties zijn:

- nulinspecties (zie paragraaf B6.4.2);
- besteksinspecties. Voordat tot onderhoud wordt overgegaan zal eerst een inspectie van het onderdeel moeten worden uitgevoerd om de omvang en aard van het werk te definiëren;
- overdrachtsinspecties. Inspectie bij de overdracht van een kunstwerk aan een andere beheerder, bedoeld om eventueel achterstallig onderhoud in kaart te brengen;
- onderzoeksinspecties. Inspectie van een of meerdere aspecten van een kunstwerk of installatie ten behoeve van kennisvergroting of een speciale controle. Ook kan het zo zijn dat een onderzoeksinspectie uit wordt gevoerd als een technische inspectie niet de gewenste resultaten geeft;
- schadeinspectie. Inspectie die wordt uitgevoerd na een calamiteit, zoals een aanvaring of aanrijding. Met deze inspectie worden de gevolgen in beeld gebracht en wordt zonodig een onderhoudsmaatregel gedefinieerd;
- inspectie na extreme situatie. Inspectie die wordt uitgevoerd na een extreme situatie, zoals een storm of het optreden van extreme stroomsnelheden. Met deze inspectie wordt bekeken of de extreme situatie gevolgen voor de conditie van het kunstwerk heeft gehad, waarna zonodig een onderhoudsmaatregel wordt gedefinieerd;
- inspectie met het oog op de 5 jaarlijkse toetsing.

Arcadis Heidemij, GeoDelft en Infram (in opdracht van de STOWA); *Blauwdruk Beheersplan Waterkeringen*; 2000

Centraal planbureau en NEI; *Evaluatie van infrastructuurprojecten, Leidraad voor kosten-batenanalyse*; 2000

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst; *Handboek Onderhoud NI, Waarborgen voor een onderhoudsbewust ontwerp*; 27 juni 1995

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst; *Beheer- en onderhoudssystematiek kunstwerken Map 1: Systematiek en Map 2: Referentiedocumenten*; maart 2000

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst; *Ontwerp van Schutsluizen, deel 1 en 2*; 2000

Onderwijs Innovatiecentrum Bouwnijverheid, Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken en Dienst Weg- en Waterbouwkunde; *Waterkeringen, collegedictaat t.b.v. het HTS onderwijs*; 1993
SBW; *Het grond-, water- en wegenbouwboek*; 1999

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; *Grondslagen voor waterkeren*; januari 1998

Artikelen

Nico Poortvliet, hoofd technisch beheer dienstkring Deltakust; *Instandhoudingsplan Oosterscheldekering*; Otter, september 2000

M.H. Djorai, Bouwdienst Rijkswaterstaat, en G. van Ittersum, Oranjewoud Infragroep b.v.; *Het Beheer en onderhoudsplan voor de Tweede Heijenoordtunnel*; Civiele Techniek, nummer 2, 2000

B7 Tunnels en leidingen

B7.1 Kruisingen van tunnels

B7.1.1 Inleiding

Ten behoeve van het doorgaande vervoer van goederen en/of personen zijn soms tunnels nodig, die primaire waterkeringen kruisen. Deze tunnels bestaan in de regel uit een diep buitendijks gedeelte, een overgangsconstructie ter plaatse van de waterkering en een toerit aan de binnendijkse zijde. Het diepste gedeelte bestaat veelal uit meerdere zinkelementen of uit een geboorde buis.

Op grond van de hoogte van de kruising ter plaatse van de waterkering is er onderscheid tussen een hoge kruising en een lage kruising. Van een hoge kruising is sprake indien de (spoor)weg de waterkering boven de dijktafelhoogte kruist of indien er voorzieningen worden getroffen, zoals kanteldijken en/of constructies, zodat falen van de tunnel niet direct tot overstroming van het aangrenzende dijkkringgebied kan leiden. Bij een lage kruising is er wel direct overstromingsgevaar aanwezig. In dat geval dient in principe een beweegbaar keermiddel te worden toegepast, dat bij dreigend hoogwater moet worden gesloten.

Een tunnel kan het waterkerend vermogen van de aangrenzende dijken aantasten als gevolg van falen door lekkage, breuk, explosie, of door krachtswerking en piping. In geval van een lage kruising kan het falen van een tunnel ook direct leiden tot overstroming van de aangrenzende dijkkringgebieden.

Om de waterkering te mogen kruisen is een vergunning van de waterkeringbeheerder vereist. In het kader van de vergunningaanvraag zullen onder meer procedurele en technische voorwaarden worden gesteld.

De procedurele voorwaarden betreffen het beheer en onderhoud van de tunnel en de sluiting van eventuele keermiddelen. De verantwoordelijkheden van de waterkeringbeheerder en de tunnelbeheerder dienen formeel te worden vastgelegd.

De technische voorwaarden impliceren onder meer een risicoanalyse, waarin inzicht wordt gegeven in de kans op falen van de tunnel door diverse oorzaken in de eindsituatie. Tevens dienen de nodige voorzieningen te worden getroffen, die er voor zorgen dat de waterkerende functie tijdens de bouwfase is gewaarborgd.

Voor de kruising van tunnels met waterkeringen zijn er geen ontwerpnormen. Voor een groot deel kan de in deze leidraad gevolgde methode

worden gebruikt voor tunnels. Een aantal aspecten is echter wezenlijk anders. In deze bijlage wordt ingegaan op de afwijkende eisen voor tunnels die de primaire waterkering kruisen.

B7.1.2 Veiligheidsaspecten

De veiligheid wordt beoordeeld aan de hand van een risicoanalyse, waarin de faalkansen van alle potentiële faaloorzaken worden gekwantificeerd, en aan de hand van beheeraspecten.

De risicoanalyse wordt nader uitgewerkt in een foutenboom met als resultaat de kans op de ongewenste topgebeurtenis 'overstroming van het dijkkringgebied' als gevolg van falen van de tunnel. Deze kans wordt getoetst aan een taakstellende eis, die wordt bepaald door het bevoegd gezag. De bepaling van de taakstellende eis wijkt af van de in Bijlage B1 van deze Leidraad aangegeven methodiek, met dien verstande dat er voor tunnels geen onafhankelijke eisen hoeven te worden gesteld voor de sterkte en voor de betrouwbaarheid van de keermiddelen; immers binnen de taakstellende eis voor de topgebeurtenis kan de verdeling van de faalkansruimte vrij worden gekozen.

De taakstellende eis is met name van toepassing voor het gedeelte van de tunnel dat het waterkerend vermogen beïnvloedt. In de regel betreft dit de overgangsconstructie en eventuele keermiddelen. Voor de vertaalslag van veiligheidseisen naar partiële veiligheidsfactoren kan gebruik worden gemaakt van de methodiek volgens Bijlage B4 van deze Leidraad. Voor het resterende gedeelte van de tunnel kan worden uitgegaan van de eisen volgens de materiaalgebonden standaard ontwerpnormen van de NEN 6700 serie.

Indien de tunnel een verbinding vormt tussen twee dijkkringgebieden dient de risicoanalyse ook te voorzien in het scenario, dat overstroming van het ene dijkkringgebied via de tunnel kan leiden tot overstroming van het andere dijkkringgebied (sifonwerking).

Ten aanzien van de keermiddelen gelden bij de volgende combinaties van hoge/lage kruising links/rechts de volgende eisen:

- hoog/hoog: geen keermiddelen nodig;
- hoog/laag: 1 keermiddel nodig aan de lage zijde;
- laag/laag: 2 keermiddelen nodig (1 aan elke zijde).

De beheeraspecten hebben betrekking op het beheer en onderhoud van de constructie en het vastleggen van hoe te handelen bij calamiteiten. De verantwoordelijkheden van de tunnelbeheerder en de waterkeringbeheerder dienen te worden vastgelegd in een door beide partijen ondertekende

objectovereenkomst, bevattende een beheer- en onderhoudsplan en een calamiteitenplan. Bij dit laatste document is van belang dat te allen tijde de waterkeringbeheerder eindverantwoordelijk blijft voor de bediening van het eventuele keermiddel.

B7.1.3 Uitzondering

Een lage kruising zonder keermiddelen zou uit technisch oogpunt, dus beleidsmatige overwegingen daargelaten, mogelijk kunnen worden toegestaan, mits wordt voldaan aan de taakstellende topeis. In dat geval is de gehele tunnel waterkerend en deze moet dan, in afwijking van de hoge kruising, geheel worden gedimensioneerd op basis van strengere veiligheidseisen dan volgens de NEN 6700 serie.

De tunnel vormt dan wel een kortsluiting tussen twee dijkringgebieden, waardoor een overlap ontstaat van bevoegdheden. Dit vormt een extra risico ten opzichte van de standaardoplossing dat bij de risicoanalyse en de beheeraspecten dient te worden meegenomen.

B7.2 Kruisingen van pijpleidingen

B7.2.1 Inleiding

Om verschillende redenen kan het noodzakelijk zijn, dat de primaire waterkering wordt gekruist door pijpleidingen. De pijpleidingen worden onderverdeeld in:

- A. Hogedrukleidingen (inwendige overdruk 10 bar en hoger); bijvoorbeeld leidingen voor aardgas, aardolie en petrochemische producten.
- B. Lagedrukleidingen (inwendige overdruk lager dan 10 bar); bijvoorbeeld leidingen voor aardgas, drink-, industrie- en afvalwater en persleidingen van gemalen.
- C. Leidingen onder natuurlijk verval (geen inwendige overdruk van betekenis); bijvoorbeeld rioolleidingen, duikers en sifons.
- D. Hevelleidingen (inwendige onderdruk); bijvoorbeeld inlaat- en lozingshevels.

Van de typen B en D kunnen ook combinaties voorkomen. Een voorbeeld daarvan zijn hevelpersleidingen van gemalen (gedeeltelijk overdruk, gedeeltelijk onderdruk).

Kruisende leidingen kunnen als gevolg van lekkage, breuk, explosie, of door krachtswerking en kwelbevordering een ongunstige invloed uitoefenen op het functioneren van de waterkering.

In het algemeen zal de leidingbeheerder vergunning of goedkeuring nodig hebben om de waterkering te mogen kruisen (soms is echter de waterkeringbeheerder ook leidingbeheerder b.v. bij persleidingen van gemalen).

Bij de aanvraag om vergunning of goedkeuring zullen ten laste van de leiding en ten gunste van de waterkering administratieve en technische voorwaarden worden gesteld.

De technische voorwaarden zullen normaliter eisen inhouden ten aanzien van de minimale sterkte van de leiding, welke aangetoond dient te worden (grondmechanisch rapport, berekening en schadefactor), alsmede ter zake van constructieve voorzieningen, welke nodig zijn om de uitvoering te kunnen realiseren en ongunstige effecten van de leidingkruising te beperken (b.v. verlenging van de kwelwegen, beperking van erosie, middelen om de leiding onder bepaalde omstandigheden te kunnen afsluiten, een zo hoog mogelijk verticaal verloop in de eventueel plaatselijk verhoogde dijk). Tenslotte zullen eisen worden gesteld in verband met het beheer (zoals controle-metingen van de kathodische bescherming, zetting en zakking, eventuele corrosie e.d.)

De kruising van doorgaande leidingen moet zijn ontworpen, berekend en uitgevoerd volgens de normen NEN 3650, NEN 3651 en NEN 3652 (inclusief wijzigingsbladen) en de Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 3659.

In dit Hoofdstuk wordt aangegeven, welke aanvullende voorzieningen nodig worden geacht, teneinde de leiding in geval van nood onmiddellijk te kunnen afsluiten, om zo aantasting van de waterkering te kunnen beperken.

B7.2.2 Aanvullende voorzieningen bij kruisingen van (pijp)leidingen met waterkeringen

Deze voorzieningen gelden niet alleen voor kruisingen van waterkeringen met doorgaande pijpleidingen, maar ook voor leidingen direct in verbinding staande met het buitenwater zoals persleidingen van gemalen, hevelleidingen en duikers. De voorzieningen betreffen met name diverse afsluitmiddelen. In onderstaande tabel zijn de eisen met betrekking tot de lokatie van de afsluitmiddelen samengevat.

Als algemene eis geldt dat de afsluitmiddelen te allen tijde over land bereikbaar moeten zijn.

Tabel B7.1
*Locatie van afsluitmid-
 delen (staat van eisen)
 bij kruisingen van
 pijpleidingen met een
 primaire waterkering*

Type pijpleiding	Lokatie van afsluitmiddelen		
	boven dijktafel- hoogte	tussen ontwerppeil en dijktafelhoogte	onder ontwerppeil
I Doorgaande leiding - drukleiding - vrij vervallei- ding - sifon	afsluiter buiten veiligheidszone afsluiter buiten veiligheidszone afsluiter in hoofden	idem idem idem	idem idem idem
II Persleiding en hevelpers- leiding	eventueel afsluiter buiten veiligheids- zone	idem, + terugslag- klep in hoofd	idem, + terugslag- klep in hoofd
III Hevel	vacuümverbreker, geen afsluiter	afsluiter in hoofd	afsluiters in hoofd- en
IV Duiker	n.v.t.	n.v.t.	twee afsluiters aan kerende zijde

N.B.1: (betreft leidingtypen II t/m IV):

Teneinde te voorkomen dat na leidingbreuk terugstromen of terughevelen van buitenwater via de breuk optreedt, verdient het aanbeveling in het buitenhoofd altijd een afsluitmiddel aan te brengen, indien dit uit anderen hoofde al niet zo is. Gezien de lage kans op tegelijkertijd optreden van leidingbreuk en falen van het afsluitmiddel is een dubbele uitvoering niet nodig. Voor lozingswerken is een terugslagklep adequaat, voor inlaatwerken een afsluiter met verlengde spindel. Alleen voor kruisingen boven dijktafelhoogte (kolom 1) komt als alternatief een vacuümverbreker in aanmerking.

N.B.2: (betreft leidingtypen II t/m IV):

Indien de kruising is gelegen in een primaire waterkering die niet direct buitenwater keert, maar de scheiding vormt tussen twee dijkkringgebieden (compartimentering), dienen de afsluiters 2-zijdig kerend te worden uitgevoerd (dubbele aanslagen), terwijl terugslagkleppen niet kunnen worden toegepast.

B7.2.3 Doorgaande pijpleidingen

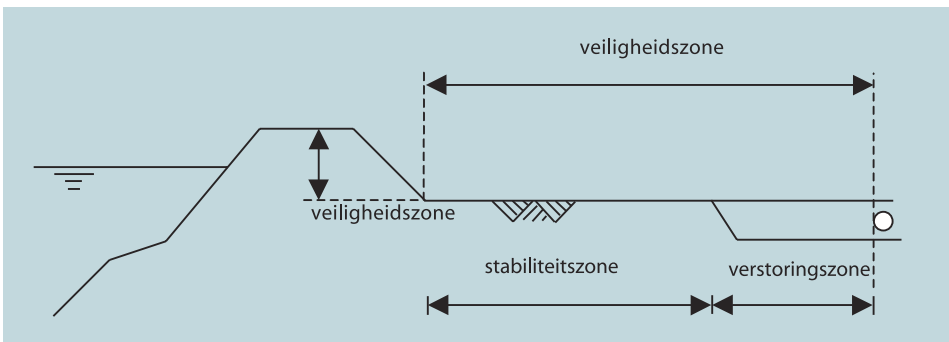
Wanneer een leiding niet in verbinding staat met het buitenwater maar ondergronds doorgaat, is in principe steeds een gesloten geheel aanwezig ten opzichte van dat buitenwater. Bij een breuk in de leiding fungeert de leiding zelf immers als waterkering.

Indien echter de doorgaande pijpleiding een drukleiding is en daardoor bij bezwijken gevaar oplevert voor de waterkering, wordt de eis gesteld dat bovenstrooms van de waterkering, doch buiten de veiligheidszone (zie figuur B7.1) in de leiding een afsluiter wordt aangebracht, teneinde bij breuk de leiding drukloos te kunnen maken. Deze afsluiter zal niet te ver

van de waterkering gesitueerd mogen zijn. De eis geldt in principe voor hoge- en lagedrukleidingen.

Hulpstukken en appendages zoals afsluiters, spuitstukken, ventielen, speciale flexibele koppelingen en dergelijke kunnen een zwakke plaats in de leiding vormen en mogen dan ook niet worden aangebracht in dat deel van de leiding, dat tot de kruising behoort (inclusief het deel in de veiligheidszone).

Het kan echter bij vloeistofleidingen in bepaalde gevallen tot bijvoorbeeld 0,5 N/mm² (5 bar), zijn nut hebben op het hoogste punt van een kruising beluchtingsventielen of ontluchters aan te brengen.



*Figuur B7.1:
Veiligheidszone van de
waterkering*

De breedte van de veiligheidszone, gemeten uit de teenlijn van de waterkering, is gelijk aan de afstand tot de leiding waarbinnen ontgrondingen en verstoringen ten gevolge van lekkage, breuk of explosie kunnen optreden, vermeerderd met de breedte van de langs de waterkering gelegen terreinstrook die in verband met de stabiliteit van de waterkering ongestoord moet blijven.

Indien de doorgaande leiding geen drukleiding is (vrij verval rioolleiding) is een afsluiter alleen nodig om de aanvoer van vloeistof te stoppen. Dit geldt niet voor een sifon. Dit is een tussenvorm. Er is hier weliswaar geen directe verbinding met het buitenwater, maar het betreft geen doorgaande leiding. Bij breuk van de sifon kan overstroming optreden (vergelijk tunnel problematiek). Zowel het in- als het uitstroomhoofd van de sifon dient van een afsluitmiddel te worden voorzien.

B7.2.4 Leidingen, direct in verbinding staande met het buitenwater

Wanneer een leiding direct in verbinding staat met het buitenwater, wordt onderscheid gemaakt aan de hand van de hoogteligging in de dijk en de aard van de leiding (persleidingen van gemalen, hevelleidingen, duikers, en hevelpersleidingen van gemalen):

1. Wanneer de leiding over de dijktafelhoogte wordt gevoerd, bestaat

er alleen bij een drukleiding behoefte aan een afsluiter (aangezien de waterkering dan tot de volledige hoogte ononderbroken aanwezig is), om de leiding bij breuk snel drukloos te kunnen maken. Ook de positie van deze afsluiter moet voldoen aan de drie randvoorwaarden:

- bovenstrooms van de waterkering;
- buiten de veiligheidszone;
- niet te ver van de waterkering verwijderd.

Het betreft hier persleidingen en hevelpersleidingen voor effluent.

Bij poldergemalen bevindt het gemaal zich in of nabij de waterkering. Bij breuk van de hevelpersleiding wordt de leiding het snelst drukloos gemaakt door de pompen uit te schakelen, ook al is er in het gemaal altijd een afsluiter aanwezig.

Indien de leiding een zuivere hevelleiding is, biedt de normale vacuümverbreker voldoende zekerheid.

2. Wanneer een *leiding* doorvoer is gelegen *tussen* de hoogte van het *ontwerppeil* en de *dijktafelhoogte*, kan als gevolg van de golfbeweging van het water, door de buis water naar binnen stromen. Bij een hevelpersleiding van een gemaal vormt de afsluiter in het gemaal de eerste kering. Het is discutabel of de golfdoorslag een tweede kering vereist. Bovendien zal men vaak een terugslagklep in het uitstroomhoofd installeren om het vacuüm in stand te kunnen houden bij tijdelijke onderbreking van de bemaling. Daarnaast is er bij een effluentleiding een afsluiter nodig om de leiding bij breuk snel drukloos te kunnen maken. Deze dient wederom te worden geplaatst:

- bovenstrooms van de waterkering;
- buiten de veiligheidszone;
- niet te ver van de waterkering.

Bij een zuivere hevel biedt de normale vacuümverbreker onvoldoende veiligheid. Een extra afsluitmiddel is nodig, hetzij in de vorm van een terugslagklep in het uitstroomhoofd bij een lozingshevel, hetzij als afsluiter in het instroomhoofd bij een inlaathevel.

3. Wanneer de *leiding* onder het *ontwerppeil* is gelegen, kan bij een bepaalde waterstand water door de open buis naar binnen stromen. Voor het geval hierbij sprake is van een persleiding of hevelpersleiding van een poldergemaal leidt dit nog niet direct tot overstroming. Er is immers altijd een afsluiter in het gemaal aanwezig. Omdat deze afsluiter een enkele kering vormt vereist dit bij intacte leiding een tweede kering in de vorm van een afsluitmiddel, bijvoorbeeld een terugslagklep in het buitenhoofd. Deze vormt dan de eerste kering, de afsluiter de tweede. Bij breuk van de leiding wordt deze drukloos gemaakt door het gemaal stil te zetten.

Bij een effluentleiding is een afsluiter nodig om de drukleiding snel drukloos te kunnen maken. Deze dient weer te worden geplaatst:

- bovenstrooms van de waterkering;
- buiten de veiligheidszone;
- niet te ver van de waterkering verwijderd.

Indien het een zuivere hevelleiding betreft, biedt de normale vacuümverbreker onder maatgevende omstandigheden geen enkele zekerheid. Een tweetal afsluiters is nodig. Daar deze niet luchtdicht zijn uit te voeren, zou men hen niet moeten plaatsen in het leidinggedeelte, dat bij normaal gebruik onder onderdruk staat. Aangezien deze afsluiters altijd toegankelijk moeten zijn, komt plaatsing in het in- en uitstroomhoofd (aan de buitenzijde van de waterkering met verlengde spindel) in aanmerking.

Bij een lozingshevel zou een terugslagklep de afsluiter in het uitstroomhoofd kunnen vervangen.

Indien het gaat om een duiker wordt, evenals bij een hevel, in het algemeen geëist, dat twee keermiddelen aanwezig zijn, waarbij de één de reserve is van de ander, ingeval een van de keermiddelen is geblokkeerd door vuil of is verwijderd voor onderhoud.

De afsluitmiddelen zullen bij voorkeur aan de kerende zijde van de waterkering worden geprojecteerd. Eén van de beide keermiddelen kan bestaan uit een terugslagklep in het buitenhoofd, indien het een lozingsduiker betreft. Bij inlaatduikers is dit bezwaarlijk. De tweede kering kan bestaan uit een afsluiter in de kruin van de waterkering.

B8 Praktijkvoorbeeld keersluis

In deze bijlage zijn de ontwerpcontroles volgens de bijlagen B1 tot en met B5 toegepast op een keersluis in een benedenrivierengebied. Hiertoe diende het stroomschema van figuur B1.2 uit bijlage B1 als leidraad. Deze bijlage is primair bedoeld om ontwerpers en constructeurs inzicht te geven in hoe de ontwerpcontroles dienen te worden uitgevoerd. De nadruk ligt op de waterkerende functie. Opgemerkt wordt dat dus niet de volledige constructie is getoetst aan alle geldende leidraden en voorschriften. Daar de keersluis enigszins gedateerd is (ontwerp en bouw begin jaren tachtig), blijkt dat niet op alle onderdelen is voldaan aan de in de huidige Leidraad Kunstwerken gehanteerde eisen.

De opbouw van de bijlage is als volgt: na een korte beschrijving van de keersluis (B8.1) volgt een overzicht van de belangrijkste hydraulische belastingen (B8.2). Met deze uitgangspunten en de toelaatbare overslag naar de achtergelegen boezem, is de kerende hoogte van de deuren bepaald (B8.3). Vervolgens is in B8.4 de betrouwbaarheid van de sluiting getoetst middels de gedetailleerde methode. Afsluitend is beschreven de toetsing op sterkte en stabiliteit en de invloed van de planperiode op diverse onderdelen (B8.5).

B8.1 Beschrijving van de keersluis

De beschouwde keersluis beveiligt enkele achtergelegen gebieden tegen overstroming ten gevolge van hoogwater op een rivier. De huidige normfrequentie van de dijkkring bedraagt 1/2000. Naast de waterkerende functie heeft de sluis ook een functie met betrekking tot de doorvaart van beroeps- en recreatievaart, en met betrekking tot de doorvoer van water. De sluis is voorzien van twee paar stalen puntdeuren die alleen bij hoge buitenwaterstand worden gesloten. Dit gebeurt ongeveer 20 à 30 keer per winterseizoen en 5 à 10 keer per zomerseizoen.

De kering is niet permanent bemand. Als verwacht wordt dat het sluitpeil binnen ongeveer een uur overschreden gaat worden, stuurt men vanuit een commandopost een beambte naar de sluis, die ter plekke de kering bedient. Daartoe wordt de waterstand continu gemeten. De sluis is afgelegen, maar voor personen- alsmede bestelwagens goed bereikbaar. De keersluis is 's avonds altijd verlicht.

Met betrekking tot het hoogwaterwaarschuwingssysteem is sprake van twee onafhankelijke continue niveaumeters en twee functionarissen die belast zijn met de aflezing. Dit kan worden opgevat als twee onafhankelijke waarschuwingssystemen. De niveaumeters worden maandelijks getest.

De procedures zijn schriftelijk geregeld, inclusief een stand-by regeling.

Ook zijn er goede controle mogelijkheden op uitgevoerde handelingen en voldoende mogelijkheden (tijd) voor herstel. Er is geen terugmeldingsplicht. Bij storingen in het sluitingsmechanisme is geen mogelijkheid voor handbediening of een ander alternatief besturingssysteem aanwezig. Wel is er een noodaggregaat beschikbaar in geval van storingen in de energielevering.

De twee stellingen puntdeuren kunnen in beginsel onafhankelijk van elkaar worden gesloten en geopend. De deuren worden gesloten door middel van een hydraulisch systeem met 4 duwpersen, 4 hydraulische units en 1 meet- en regelunit. Sluiten kan tot een stroomsnelheid van 4 m/s, welke zou kunnen optreden nadat één van de kaden van de boezem zou doorbreken (calamiteit). Nadat de deuren gesloten zijn, wordt de spleet tussen deur en bodem gedicht door middel van verticale schuiven. Met dit systeem heeft men minder last van eventueel zand op de bodem van de sluis.

Figuur B8.1 geeft een schematische tekening van de sluis. De belangrijkste gegevens met betrekking tot de geometrie van de sluis zijn:

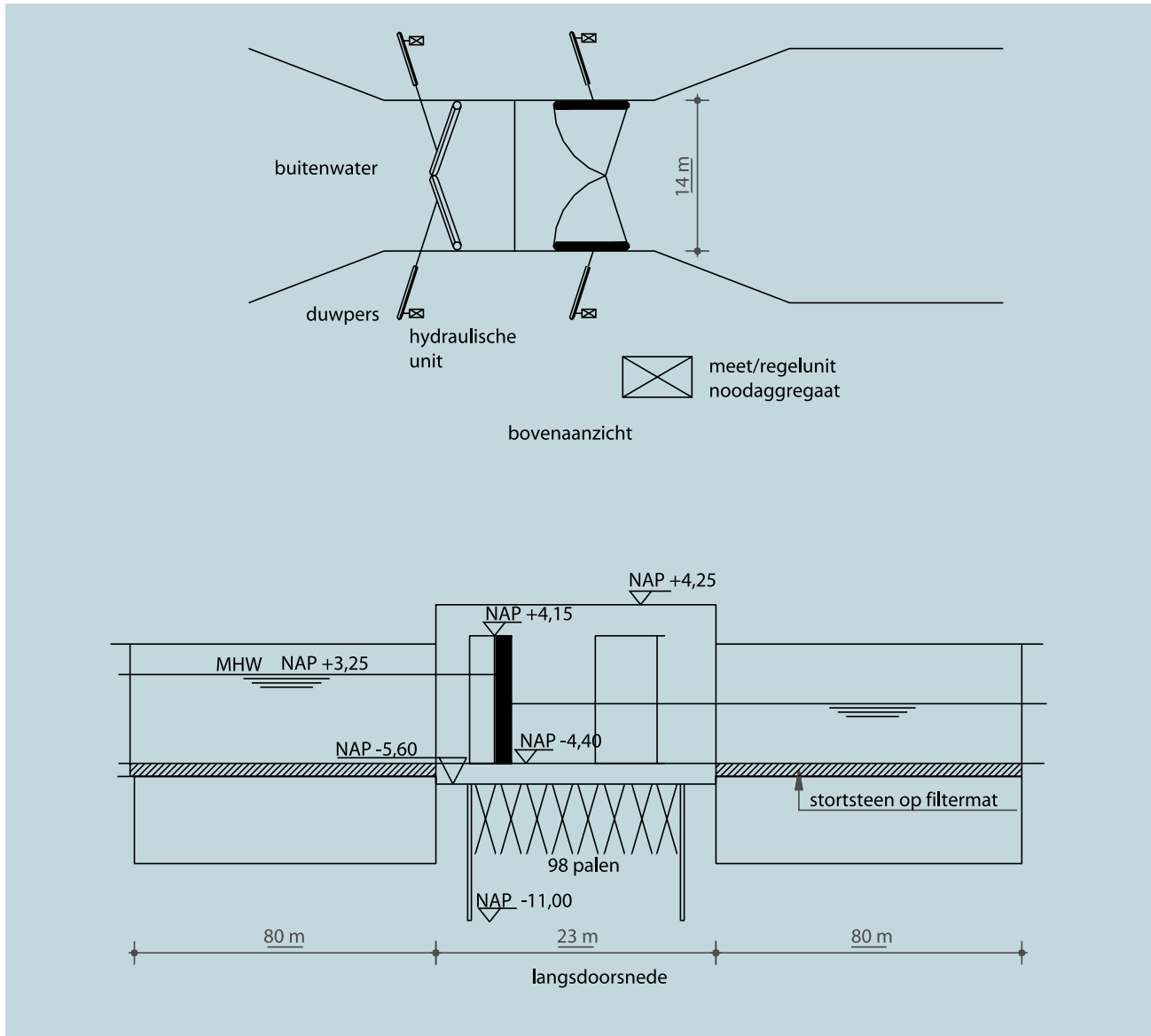
- hoogte aansluitende dijk: NAP + 4,45 m;
- hoogte sluisplateau: NAP + 4,25 m;
- hoogte deuren: NAP + 4,15 m;
- hoogte achterliggende kade: NAP + 2,20 m ('open keerhoogte');
- sluitpeil: NAP + 1,30 m;
- bovenkant vloer: NAP – 4,40 m;
- onderkant vloer: NAP – 5,60 m;
- doorvaartbreedte: 14,00 m.

B8.2 Hydraulische belastingen

In tabel B8.1 zijn de gehanteerde waarden van de hydraulische belastingen samengevat. De overige belastingen (gronddruk, grondwaterdruk, etc.) zullen in samenhang met de relevante belastingtoestanden behandeld worden.

B8.3 Kerende hoogte

De deurhoogte is NAP +4,15 m, dit is 0,10 m lager dan het sluisplateau en 0,30 m lager dan de aansluitende grondlichamen. Dit betekent dat een eventueel overslagdebiet gecontroleerd via de sluis naar de achterliggende boezem zal afstromen.



Figuur B8.1
Overzicht keersluis

De toelaatbare overslag volgt uit het kombergend vermogen. De keersluis is de enige overlaat in de boezem. Gesteld wordt dat er voor instromend water een kombergend vermogen K van 300.000 m³ op de boezem aanwezig is. Bij een breedte van 14 m betekent dit een toelaatbaar overslag-volume per meter breedte: $V_B = 21.430 \text{ m}^3/\text{m}$.

Voor controle of de toegepaste deurhoogte voldoet, zal de aanleghoogte bepaald worden bij golfoverslag. De berekening verloopt als volgt (zie ook figuur B2.1):

$$h_{\text{aanleg}} = \text{MHW} + h_{\text{hws}} + h_{\text{bssl}} + h_{\text{ovs}} + h_{\text{lb}} + h_{\text{z+k}}$$

met: h_{aanleg} = de benodigde aanleghoogte van de deuren [NAP m].

MHW = Maatgevend Hoogwater met een faalkans van 1/2000 = NAP +3,25 m.

h_{hws} = hoogwaterstijging en verhoging van de waterstand door morfologische ontwikkelingen gedurende de planperiode, voor zover deze niet in het MHW zijn verdisconteerd = 0,10 m.

h_{bssl} = verhoging van de waterstand door seiches, bui-oscillaties, buistoten = 0,00 m en lokale opwaaiing = 0,03 m.

h_{ovs} = benodigde hoogte in verband met golfoverslag.

h_{lb} = verhoging in verband met verwachte lokale bodemdaling = 0,00 m.

$h_{\text{z+k}}$ = verhoging in verband met zetting en klink; voor het op palen in het pleistocene zandpakket gefundeerde kunstwerk wordt dit geschat op 0,01 m.

belasting	waarde	herhalingstijd R [jaar]
waterstanden ¹⁾	NAP + 3,25 m (MHW) (extreme waarde)	2000
golfrandvoorwaarden ²⁾	$H_s = 0,50$ m; $L = 10$ m (combinatiewaarde)	10
opwaaiing	$h_{\text{opw}} = 0,03$ m (combinatiewaarde)	10
stroming ³⁾	$u = 1,60$ m/s (extreme waarde)	50
retourstroom ⁴⁾	$V = 1,98$ m/s (maximum waarde)	50
schroefstraal ⁵⁾	$U = 2,70$ m/s (maximum waarde)	50

Tabel B8.1
Hydraulische belastingen bij herhalingstijd R

- 1) Bepaald uit frequentielijnen voor de rivier ter plaatse van de keersluis.
- 2) Berekend met behulp van Bretschneider formules: windsnelheid 15 m/s, strijklengte 2000 m en waterdiepte 7 m.
- 3) Bepaald uit waterlooppkundig onderzoek.
- 4) Maatgevend schip: Kempenaar, 600 ton laadvermogen. Maximaal haalbare snelheid door sluis van 1,95 m/s geeft een retourstroom 0,68 m/s (1 m uit sluis-as). Hierbij dient nog de maximaal optredende stroomsnelheid van 1,30 m/s te worden opgeteld.
- 5) Bepaald voor Kempenaar met motorvermogen 147 kW, geladen diepgang 2,4 m en waterdiepte 3,10 m (bij laagst bekende waterstand).

Veronderstellen we de duur van de piek van het ontwerphoogwater op 3 dagen, dan volgt bij een overslagvolume van $V_B = 21.430 \text{ m}^3/\text{m}$ een toelaatbaar overslagdebiet $q = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ per m. Hieruit kan de benodigde

golfoverslaghoogte bepaald worden met:

$$h_{ovs} = \frac{1}{3} \gamma_{\beta} \gamma_n H_s \ln \left(\frac{q}{0,13 \sqrt{g H_s^3}} \right) + 0,09 \text{ m}$$

- met: γ_{β} = invloedsfactor voor scheve golfaanval = 1,0.
 γ_n = invloedsfactor voor een neus bovenaan de constructie = 1,0.
 H_s = significante inkomende golfhoogte vlak voor de constructie = 0,50 m.
 q = gemiddeld overslagdebiet [m^3/s per strekkende m breedte].
 g = versnelling van de zwaartekracht = $9,81 \text{ m}^2/\text{s}$.

$$h_{ovs} = \frac{1}{3} * 1,0 * 1,0 * 0,50 * \ln \left(\frac{0,08}{0,13 \sqrt{9,81 * 0,50^3}} \right) + 0,09 \text{ m}$$

Voor de minimum waakhoogte geldt $w \geq 0,30 \text{ m}$, ofwel $h_{bssl} + h_{ovs} \geq 0,30 \text{ m}$. Deze is $(0,00 + 0,03) + 0,09 = 0,12 \text{ m}$. Er moet dus $0,30 \text{ m}$ aangehouden worden.

Dit betekent dat $h_{aanleg} = \text{MHW} + h_{hws} + w + h_{z+k} = \text{NAP} + 3,25 + 0,10 + 0,30 + 0,01 = \text{NAP} + 3,66 \text{ m}$. De keersluis is dus voldoende hoog (NAP + 4,15 m).

B8.4 Betrouwbaarheid sluiting

Aangenomen wordt dat het open-keerpeil vaker dan eens per 10 jaar wordt overschreden. Dit zal geverifieerd worden in stap 3. De betrouwbaarheid zal dus worden getoetst middels de gedetailleerde methode. We volgen stap voor stap de procedure van bijlage B3.4 (zie ook appendix B3.1).

Stap 1 Bepaling functies en gebruikstoestanden

We gaan uit van de functie 'waterkeren'.

Stap 2 Bepaling van het open-keerpeil (OKP)

Voor de open keerhoogte kan worden uitgegaan van de hoogte van de achterliggende kade. Deze is gelijk aan NAP + 2,20 m. Een hogere waterstand leidt tot overstroming. Er wordt vanuit gegaan dat bij geopend keermiddel de binnenwaterstand de buitenwaterstand instantaan volgt (dit is een veilige aanname). Het open-keerpeil kan dan direct worden bepaald uit deze open keerhoogte verminderd met een waakhoogte.

Voor de waakhoogte wordt uitgegaan van $w = 0,15$ m. Hierin is zowel de extra hoogwaterstijging van 0,10 m (planperiode 100 in plaats van 50 jaar) als de onzekerheid in de waterstand nabij het faalpeil verdisconteerd. Gevonden wordt voor het open-keerpeil:

$$OKP = h_{okh} - w = NAP + 2,05 \text{ m (faalpeil)}.$$

Stap 3 Bepaling overschrijdingsfrequentie van het open-keerpeil (OKP)

De overschrijdingsfrequentielijn van hoge buitenwaterstanden wordt beschreven met:

$$N(h > x) = 10^{-(x-A)/B}$$

met: $A =$ $NAP + 1,86$ m (buitenwaterstand met overschrijdingsfrequentie van eens per jaar)
 $B =$ $0,42$ m (decimeringswaarde)

De overschrijdingsfrequentie van het OKP is daarmee gelijk aan:

$$N\{h > OKP\} = 10^{-(2,05-1,86)/0,42} = 0,35 / \text{jaar}.$$

Het blijkt dat het open-keerpeil meer dan 0,1 keer per jaar wordt overschreden, zodat de eenvoudige methode niet gebruikt mag worden en de toegepaste gedetailleerde methode geldig is.

Het aantal vragen per jaar wordt gegeven door:

$$N\{OKP < h < MHW\} = N\{h > OKP\} - N\{h > MHW\} = 0,35 - 0,0005 = 0,35 / \text{jaar}.$$

Deze waarde wordt geheel beheerst door de kans op het overschrijden van het open-keerpeil.

Stap 4 Bepaling kans op niet sluiten per vraag

Voor de beantwoording van de vragen wordt gebruik gemaakt van de gegevens in B8.1.

Hoogwateralarmstelsysteem

a1	a=3	De waterstand wordt continue automatisch geregistreerd en het systeem wordt maandelijks getest
a2	a=4	De registratie is continue
a3	a=4	Er is geen controle of back-up
b1	b=2	Er moet iemand gewaarschuwd worden
b2	b=3	Er is een procedure
b3	b=4	De kering sluit gemiddeld 20 maal per jaar
b4	b=3	Er is één schakel in de commandopost / terugmelding is niet verplicht
c	c=3	Tussenscore $c = \min(a;b) = \min(4;3) = 3$
d		Er is geen tweede systeem
e		Er is geen tweede systeem
f	f=0	Tussenscore
g	g=0	De bevolking is te laat
h	E1=3	Eindscore: $E1 = c + f + g = 3$

Mobilisatie

a1	a=1	De bemanning is niet permanent bij de sluis
a2	a=1,5	Er is een mobilisatieregeling
a3	a=1,5	Er is geen waarschuwing
a4	a=1,5	Er is geen terugmeldingseis
a5	a=2	Er zijn vele sluitingen in een jaar
b1	b=1	Er is een stand-by regeling
b2	b=1	Niet aanwezig
c	c=3	Tussenscore
d1	d=1	Geen volledige bemanning aanwezig
d2	d=3	Goed bereikbaar
e	E2=3	Eindscore: $E2 = \min(c;d) = 3$

Bedieningsprocedure voor de sluiting

a1	a=2	Niet automatisch / wel procedure
a2	a=2,5	Er is een terugmeldingsplicht
a3	a=3	De procedure is bij alle betrokkenen bekend
a4	a=3,5	De sluiting vindt enkele malen per jaar plaats
b	b=1	Er is goede controle op de handeling
c1	c=1	Er is voldoende verlichting, dit wordt gecontroleerd
c2	c=1	Er zijn sleutels nodig / over controle is niets geregeld
c3	c=1,5	Geen bijzondere hulpmiddelen nodig (dus er is voldoende communicatie)
d	d=1	Waarschijnlijk, er is veel tijd
e	E3=2,5	Eindscore: $E3 = \min(a+b;c+d) = \min(4,5;2,5) = 2,5$

Bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen

Eerste keermiddel:		
a1	a=2	Het is permanente deur
a2	a=3	Er zijn vele sluitingen per jaar
a3	a=3	De scheepvaart is minimaal
b	b=4	De normale voeding is via het GEB, er is een noodaggregaat aanwezig
c	c=3	Tussenscore $c = \min(a,b) = \min(3;4) = 3$
d	d=0	Er is geen reserve-aandrijving
e	e=2	Geen bijzondere belemmeringen, speciale voorzieningen in deur
f	f=0	Ingrijpen in de natte is zeer lastig vanwege de afgelegen ligging
g	g=2	Tussenscore: $g = \min(c+d;e+f) = \min(3+0;2+0) = 2$
Het tweede keermiddel is gelijk aan het eerste:		
h	h=2	Tussenscore: $h = \min(c,e) = \min(3;2) - 1 = 1$
Combinatie van de twee keermiddelen:		
i	E4=3	Eindscore: $E4 = g + h = 2 + 1 = 3$

Samenvattend:

Hoogwateralarmsysteem	: $E_1 = 3$
Mobilisatie	: $E_2 = 3$
Bedieningsprocedure voor de sluiting	: $E_3 = 2,5$
Bedrijfszekerheid van de afsluitmiddelen	: $E_4 = 3$
Voor het geheel	: $E = \min E_i = 2,5$

Daarmee komt de kans op niet sluiten (falen) bij een gegeven vraag:

$$P_{ns} = 10^{-2,5} = 3,16 \cdot 10^{-3}.$$

Stap 5 Controle (toetsing norm)

De eis waaraan de sluitingsoperatie moet voldoen is:

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

met: n_j = het aantal keren per jaar dat de kering moet worden gesloten (vragen/jaar)

P_{ns} = kans op niet sluiten, gegeven noodzaak (faalkans/vraag)

In de stappen 3 en 4 zijn bepaald:

$$P_{ns} = 3,16 \cdot 10^{-3} / \text{vraag en } n_j = 0,35 / \text{jaar}.$$

Daarmee:

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

$$11,0 \cdot 10^{-4} / \text{jaar} < 0,5 \cdot 10^{-4} / \text{jaar}$$

Er is niet aan de eis voldaan. Dit betekent dat er of een scherpere analyse (met behulp van de geavanceerde beoordelingsmethode) moet plaatsvinden of een modificatie van het maatgevende onderdeel (of onderdelen) dient te worden uitgevoerd. Een voorbeeld van een scherpere analyse is gegeven in appendix B3.1 bij bijlage B3.

B8.5 Sterkte en stabiliteit

Voor een waterkerend kunstwerk als een keersluis geldt dat de constructie de waterkerende functie geheel zelfstandig moet kunnen vervullen (type I). Hiertoe moet de sluis voldoen aan de (top)eis voor sterkte en stabiliteit, uitgedrukt in een kans op constructief bezwijken van:

$$P\{\text{bezwijken} \mid h < \text{MHW}\} < 0,01 * \text{norm.}$$

Bij het ontwerp van de keersluis zijn de volgende faalmechanismen gecontroleerd:

- controle kwelschermen op piping (B8.5.1);
- sterkte stalen puntdeuren (B8.5.2);
- sterkte betonnen sluiswanden (B8.5.3);
- stabiliteit bodembescherming (B8.5.4);
- ontgroningen (B8.5.5);
- toelaatbaar paal draagvermogen (B8.5.6).

Achtereenvolgens zullen de diverse faalmechanismen worden getoetst aan bovenstaande eis.

B8.5.1. Controle kwelschermen op piping

Voor piping zijn de volgende twee belastingsituaties aangehouden:

- extreem hoog buitenwater: buitenwaterstand NAP +3,25 m, binnenpeil NAP +0,25 m (voor het binnenpeil bij MHW is veiligheidshalve uitgegaan van de binnenwaterstand met een onderschrijdingsfrequentie van eens per jaar), het verval bij MHW bedraagt derhalve 3,00 m;
- extreem laag binnenwater (calamiteit): buitenwaterstand NAP +2,50 m, binnenwaterstand NAP -0,90 m (laagst bekende binnenwaterstand), het verval bij extreem laag binnenwater bedraagt derhalve 3,40 m, en is dus maatgevend voor dimensionering van de kwelschermen.

Bij deze keersluis zijn aan de voor- en achterzijde kwelschermen toegepast. Omdat hierdoor verticale kwelwegen ontstaan is een eerste toetsing uitgevoerd volgens de methode Lane, zie het Technisch Rapport

Zandmeevoerende Wellen [B8.1]:

$$L \geq C_{w;creep} (H_{bu} - H_{bi})$$

met: $C_{w;creep}$ = coëfficiënt voor matig grof tot zeer grof zand = 5,5.

H_{bu} = buitenwaterstand = NAP +2,50 m.

H_{bi} = lage binnenwaterstand = NAP -0,90 m.

Hieruit volgt $L \geq 19$ m.

De toegepaste kwelschermen reiken elk circa 5,4 m in de ondergrond. De verticale kwallengte bedraagt $2 \times (6,6 \text{ m} + 5,4 \text{ m}) = 24 \text{ m}$. De horizontale kwallengte mag niet worden meegerekend (op palen gefundeerd). De kwallengte L is groter dan 19 m, dus voldoet.

B8.5.2. Sterkte stalen puntdeuren

N.B. In onderstaande berekening is geen rekening gehouden met de effecten van de fuikwerking en van de schuine stand van de puntdeuren!

De deuren zijn destijds ontworpen op de volgende twee belastingen:

- extreem hoog buitenwater: extreem hoogwater NAP +3,25 m, binnenpeil NAP +0,25 m;
- extreem laag binnenwater: buitenwaterstand NAP +2,50 m, binnenwaterstand NAP -0,90 m.

Ontwerpparameters

deur

- bovenkant NAP +4,15 m; onderkant NAP -4,20 m.

golfbelasting bij hoog buitenwater (buitenzijde)

- stilwaterstand op afstand van de deur: MHW = NAP +3,25 m (waterdiepte $h = 7,65$ m);
- golfhoogte
 $H_{s,refl} = (1 + \chi) H_s = K_s K_r K_d (1 + \chi) H_{s,0} = 1 * 1 * 1 * (1 + 1) * 0,50 = 1,00$ m;
- ontwerp golfhoogte
 $H_{d,refl} = (1 + \chi) H_d = (1 + \chi) * 2,2 * H_s = (1 + 1) * 2,2 * 0,50 = 2,20$ m;
- controle op breken golven:
golflengte $L = 15$ m, waterdiepte $D_{0,5L}$ op ca. $2L$ voor de constructie bedraagt 7,65 m.

$$H_d = 0,2L \left(\tanh \left(\frac{2\phi D_{0,5L}}{L} \right) \right) = 0,2 \Delta 15 \Delta \tanh \left(\frac{2\phi \Delta 7,65}{15} \right) = 2,99 \text{ m}$$

De hoogte van de inkomende ontwerpgolf H_d is gelijk aan $2,2 H_s = 1,10 \text{ m}$. Dit is lager dan de kritieke hoogte van $2,99 \text{ m}$. Hieruit volgt dat de golven ongebroken aankomen bij de constructie. Classificatie van de golfbelasting aan de hand van stroomschema B5.4 toont aan dat sprake is van quasi staande golven, waarmee vast staat dat de golfbelasting kan worden berekend met Sainflou;

- golfbelasting

$$k = \frac{2\phi}{L} = \frac{2\phi}{15} = 0,42$$

$$a_{kw} = 1,10 \text{ m}$$

$$h = 7,65 \text{ m}$$

$$h' = 7,65 \text{ m}$$

$$\xi_0 = \frac{1}{2} k a_{kw}^2 \coth(kh) = \frac{1}{2} \Delta 0,42 \Delta 1,10^2 \Delta \coth(0,42 \Delta 7,65) = 0,25 \text{ m}$$

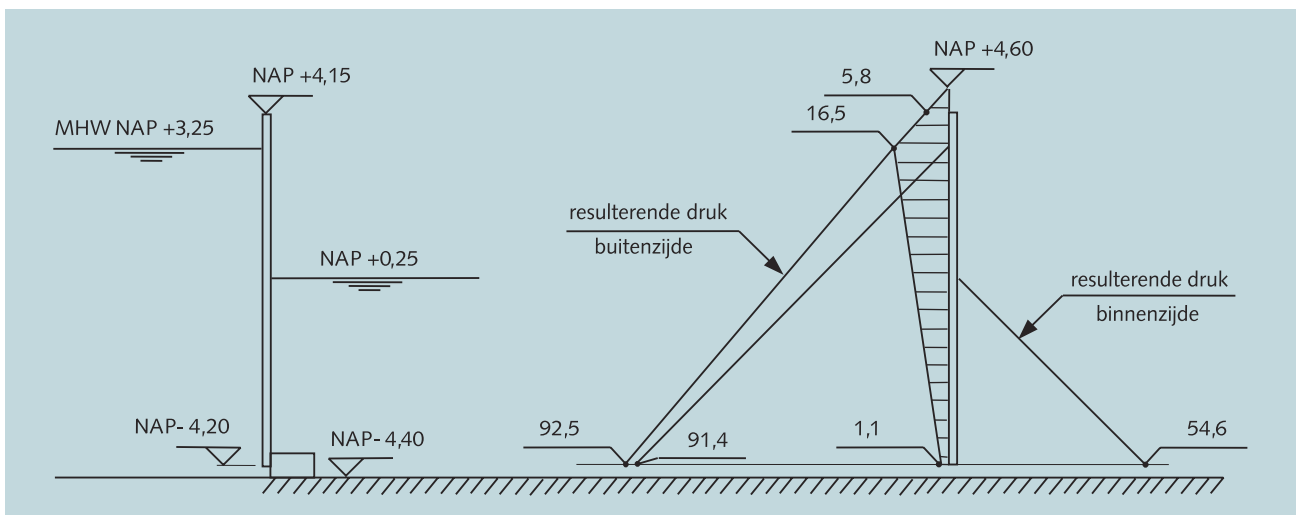
de dynamische drukken worden hiermee:

$$p_1 = \rho g (a_{kw} + 2 \xi_0) = 1000 \Delta 9,81 \Delta (1,10 + 2 \cdot 0,25) \Delta 10^4 = 13,2 \text{ kPa}$$

$$p_0 = \frac{\rho g a_{kw}}{\cosh(kh')} = \frac{1000 \Delta 9,81 \Delta 1,10 \Delta 10^4}{\cosh(0,42 \Delta 7,45)} = 0,9 \text{ kPa}$$

De totale druk als gevolg van extreem hoogwater op de deur volgt uit superpositie van de dynamische drukken en de hydrostatische drukken (zie figuur B8.2). Voor de rekenwaarde van de belasting dienen de onderhavige drukken te worden vermenigvuldigd met een belastingsfactor 1,25 (zie Bijlage B5, Tabel B5.2). De belastingsituatie 'calamiteit' is niet maatgevend.

Figuur B8.2
Maatgevende water-
drukken op deuren



Controle van de stalen deuren geschiedt vervolgens conform NEN 6770. Opgemerkt wordt dat uit archiefonderzoek niet naar voren is gekomen of de deuren ook op ijs- en aanvaarbelasting zijn ontworpen.

Merk op dat in een definitieve ontwerpberekening de tijdsafhankelijke effecten van extra hoogwaterstijging, lokale opwaaiing en zetting (gezaamenlijk $0,10 + 0,03 + 0,01 = 0,14$ meter) nog zouden moeten worden meegenomen.

B8.5.3 Sterkte betonnen sluiswanden

De horizontale belastingen op de sluiswanden kunnen worden gesplitst in:

- **gronddruk**

De NEN 6740 stelt dat korreldrukken strikt genomen niet in het domein van de belastingen vallen, daar ze in sterke mate reageren op de vervormingen van de constructies. Golfbelastingen en op/afwaaiing zijn hier buiten beschouwing gelaten.

Voor de gronddrukcoëfficiënt geldt (NEN 6740, art. 12.4.5):

$$K_0 = 1 - \sin \phi'.$$

Echter voor starre wanden die zand keren en onder invloed staan van grotere fluctuerende waterstanden en temperaturen kan deze factor oplopen tot een waarde van 2 (NEN 6740, art. 12.2.3).

In de berekening van de belasting wordt gesteld $K_0 = 1$. Dit omdat de circa 8 m hoge wand niet als volledig star beschouwd kan worden, waarmee 1 een conservatieve waarde is.

- **(grond)waterdruk**

Als gevolg van de variatie in waterstanden zal de grondwaterstand ook aan schommelingen onderhevig zijn. Voor de berekening van de grondwaterdruk wordt uitgegaan van een grondwaterstand gelijk aan de buitenwaterstand. Dit is een veilige benadering, daar de optredende extreme waterstanden kortstondig zijn. Voor de bepaling van de belastingen dienen de verschillende optredende (grond)waterstanden te worden gecombineerd. Bepaald wordt nu de totale horizontale gronddruk op de sluiswand (van NAP +4,25 m tot NAP -4,40 m) voor de verschillende grenstoestanden. In het voorontwerp is op deze wijze de gemiddelde belasting bepaald en aangenomen dat deze belasting niet dominant is. Met geavanceerdere berekeningen dient dit geverifieerd te worden.

Opgemerkt wordt dat de grond en het grondwater tegen de sluiswanden niet tot aan de bovenkant van het sluisplateau reiken, daar kelders - waarin de bewegingswerken zijn opgenomen - onderdeel vormen van de constructie.

Tabel B8.2
Belastingsituaties sluiswand

grenstoestand	Bovenbelasting	grondwaterstand	waterstand binnenzijde	sluiswand en aanaarding
type 1A				
a) laagwater	10 kN/m ²	NAP +2,50 m	NAP –0,90 m ¹⁾	NAP +4,25 m
b) hoogwater	10 kN/m ²	NAP +3,25 m ²⁾	NAP +0,25 m	NAP +4,25 m
c) bouwphase ³⁾	10 kN/m ²	NAP +0,50 m ⁴⁾	n.v.t. ⁵⁾	NAP +0,60 m ⁶⁾
type 2 ⁷⁾	n.v.t. ⁸⁾	NAP +0,40 m	NAP +0,40 m ⁹⁾	

- 1) Laagst gemeten waterstand.
- 2) Najling MHW.
- 3) In NEN 6740 wordt niet ingegaan op belastingen door grond en waterdruk tijdens de bouw. Dit betekent dat de bouwphase als uiterste grenstoestand type 1A dient te worden beschouwd, waarbij de belastingfactoren gelijk zijn aan die voor de permanente situatie.
- 4) Voor de berekening aangehouden.
- 5) Sluis staat droog.
- 6) Om de duur van de bemaling te beperken is, nadat de betonnen sluiswanden tot NAP + 0,60 m zijn gestort, achter de wanden aangeaard en is de bronnering gestopt.
- 7) Deze grenstoestand is met name van belang voor de controle van de scheurwijdte van de betonnen sluiswand. Als maatgevend kan hier de langdurig optredende belastingssituatie worden aangehouden.
- 8) De bovenbelasting kan in de bruikbaarheidsgrenstoestand opgevat worden als een incidentele zeldzame belasting.
- 9) Middenstand bij gemiddelde rivierafvoer.

Bij de bepaling van de rekenwaarde van de resulterende druk op de sluiswand, uitgaande van bovenstaande belastingssituaties, geldt voor de partiële factoren het volgende:

- **materiaalfactor**

De materiaalfactor voor de volumieke massa van grond bedraagt $\gamma_m = 1$ (NEN 6740, art. 8.9: ook bij uiterste grenstoestand geldt $\gamma_m = 1$, indien een verhoging van de waarde van de volumieke massa tot een ongunstiger resultaat leidt).

- **belastingsfactor**

Er is sprake van een dominante belasting door de buitenwaterstand, in combinatie met grond- en grondwaterdrukken (zie tabel B8.3). Het betreft hier geen zuiver grondmechanische verificatie. Dit betekent een belastingsfactor 1,2 op de gronddruk en de grondwaterdruk moet worden gehanteerd:

$$F_{\text{hor;d}} = 1,2 F_{\text{hor;grond;rep}} + 1,2 F_{\text{hor;water;rep}}$$

grenstoestand	$F_{hor;grond;rep}$	$F_{hor;water;rep}$	$F_{hor;d}$
type 1A a)	707 kN/m	174 kN/m	1058 kN/m
b)	528 kN/m	181 kN/m	851 kN/m
c)	169 kN/m	120 kN/m	347 kN/m
type 2	636 kN/m	0 kN/m	763 kN/m

Tabel B8.3
Resulterende druk op
sluiswand (positief is in
de richting van de sluis-
kolk)

Nu de belastingen bekend zijn kan de betonconstructie gecontroleerd worden volgens NEN 6720.

In tabel B8.4 zijn de benodigde controles met bijbehorende materiaalfactoren samengevat. De controles zijn niet verder uitgewerkt.

Controle	grenstoestand	Materiaalfactor
Moment	type 1A	betonstaal $\gamma_m = 1,15$ betondruk $\gamma_m = 1,20$ betontrek $\gamma_m = 1,40$
Dwarskracht	type 1A	schuifspanning $\gamma_m = 1,40$
scheurwijdte en toelaatbare doorbuiging	type 2	materiaalfactor $\gamma_m = 1,00$

Tabel B8.4]
Controles en materiaal-
factoren beton-
constructie

B8.5.4 Stabiliteit bodembescherming

De berekende stroomsnelheden kunnen als rekenwaarden worden beschouwd (partiële factor = 1,0). De steenbestorting kan worden bepaald met behulp van de door Pilarczyk aangepaste formule van Isbash/Shields, zie CUR Report 169 [B8.2]:

$$\frac{U^2/2g}{\frac{\Delta'}{D'}} \geq \frac{\Phi_{cr}}{0,035} \Theta_h' k_{sl} k_t^{42} \frac{1}{A_{sc}}$$

met: 0,035 = referentiewaarde aan de kritieke Shields parameter [-]

k_t = turbulentiefactor [-]

k_{sl} = hellingfactor [-] = 1, (horizontale bodem)

Δ_h' = diepte factor [-] = 1, ($h/D > 5$)

Ψ_{cr}' = systeemafhankelijke Shields stabiliteitsgetal [-] = 0,03

D' = D_{n50} = nominale diameter [m]

Δ' = relatieve dichtheid van de
stortsteen [-] = 1,65

Φ_{sc} = geometrische stabiliteitsfactor voor
stroming [-] = 0,75

U = horizontale diepte-gemiddelde stroomsnelheid [m/s].

g = zwaartekrachtversnelling [m/s²]

Onderstaand is dit voor de berekende stroomsnelheden uitgewerkt.

Tabel B8.5 Vereiste steendiameters

belasting	U [m/s]	k_t	vereiste D_{n50} [m]	opmerking
stroming	1,6	1,0	0,07	maatgevend
retourstroom	2,0	1,2	0,16	
schroefstraal	2,7	1,5	0,44	

Er moet dus gelden dat $D_{n50} \geq 0,44$ m. Toegepast is stortsteen 60-300 kg. Hiervoor geldt dat D_{n50} mag variëren tussen de 0,38 m en 0,44 m, waarmee aan de eis wordt voldaan.

B8.5.5 Ontgrondingen

Na het in gebruik nemen van de sluis zullen als gevolg van getijstroming en hoog water ontgrondingen optreden aan het einde van het stortebed. De bij een ontgroning mogelijk optredende inscharing door afschuiving of zettingsvloeiing mag niet groter zijn dan de lengte van de bodembescherming, dat wil zeggen 80 m.

Indien rekening wordt gehouden met een mogelijk zettingsvloeiing gevoelige ondergrond (losgepakt zand), kan de maximale inscharingslengte worden gesteld op circa 9 maal de diepte van de ontgrondingskuil [B8.3]. Dit betekent dat de standzekerheid van de constructie met betrekking tot ontgrondingen voldoende gewaarborgd is, indien de maximale ontgrondingsdiepte wordt beperkt tot 8,8 m.

Bij de beëindiging van de bodembescherming bedraagt de gemiddelde stroomsnelheid circa 0,10 m/s. Bij dergelijke lage stroomsnelheden wordt nauwelijks transport van het bodemmateriaal verwacht, en zal de diepte van een eventuele ontgrondingskuil beperkt zijn. Aanbevolen wordt om de actuele bodemligging tijdens het beheer door regelmatige peilingen te monitoren, zodat indien nodig tijdige maatregelen kunnen worden getroffen.

B8.5.6 Toelaatbaar paal draagvermogen

De volgende belastingsituaties zijn aangehouden:

- tijdens de **bouwfase** treden de volgende belastingen op:
 - eigen gewicht van de sluis;
 - machines en installaties ten behoeve van de bouw;
 - veranderlijke belasting;
 - de paalfundering wordt niet op horizontale belasting berekend (aan weerszijde gelijkmatig aanvullen).
- in de **gebruikersfase** zijn drie (maatgevende) belastingen te onderscheiden:
 - de sluisdeuren geopend;

- de sluisdeuren (2 of 4) gesloten;
- onderhoudswerkzaamheden;
- **onderhoudsfase**
 - de sluis wordt niet droog gezet

NEN 6743 geeft een semi-probabilistische werkwijze ter bepaling van het totale draagvermogen van een palenveld, afhankelijk van het aantal palen en het aantal uitgevoerde sonderingen.

Er zijn 4 sonderingen uitgevoerd, waartussen geen grote afwijkingen zijn geconstateerd. De aangehouden paalbelastingen zijn voor druk 750 kN en voor trek 150 kN. Onder de als 'stijf' te beschouwen sluisvloer worden 98 voorgespannen betonpalen toegepast, met schachtafmeting 400 mm en met het paalpuntniveau op NAP -19 m.

Ter plaatse van de uitgevoerde sonderingen zijn de maximale draagkracht van de paalpunt $F_{r,max;punt}$ en de maximale schachtwrijvingskracht $F_{r,max;schacht}$ bepaald. Voor de berekening is ervan uitgegaan dat de bodem niet samendrukbaar is en dat hierin geen zetting en derhalve geen negatieve kleef zijn te verwachten. Ten behoeve van de sluisvloer zal tot maximaal circa NAP -6,0 m ontgraven worden.

De optredende belastingen zijn getoetst aan de NEN 6743. Voor toekomstig gebruik kan hiervoor het CUR-rapport 2001-4 'Ontwerpregels voor trekpalen' worden gebruikt.

B8.5.7 Invloed planperiode

De lengte van de planperiode speelt een rol bij:

- verhoging van de waterstand door hoogwaterstijging en morfologische ontwikkelingen. Deze is veelal reeds verwerkt in de waterstandsgegevens (overschrijdingslijn, MHW);
- zetting: doordat de sluis op palen is gefundeerd in het Pleistocene zand zal de zetting te verwaarlozen zijn;
- vermoeiing: de stalen onderdelen kunnen bij frequente wisselbelasting sterkte verliezen door vermoeiing. Controle van relevante onderdelen volgens NEN 6788 (het ontwerpen van stalen bruggen: VOSB 1995) of de NEN 6786 en ontwerp-NEN 6787 (VOBB: voorschriften voor het ontwerp van beweegbare bruggen) of NEN 2063 (Booglassen; op vermoeiing belaste constructies) verzekert een veilige constructie op dit aspect;
- corrosie: de stalen onderdelen zullen sterkte verliezen door corrosie. Stalen onderdelen dienen met een zekere overmaat gedimensioneerd

te worden om voldoende veiligheid tot het einde van de planperiode zeker te stellen. De grootte van de overmaat hangt af van de lengte van de planperiode, de corrosiesnelheid, eventuele coating en/of bescherming en van de onderhouds- en inspectiefrequentie. Bovenstaande punten dienen geïntegreerd te worden in het ontwerp-proces van de staalconstructie;

- slijtage: bewegende onderdelen kunnen slijten. Overdimensionering of frequente inspectie en onderhoud dient plaats te vinden. Frequentie van onderhoud en inspectie zijn afhankelijk van de snelheid van slijtage en de planperiode waarover het betreffende onderdeel is ontworpen;
- erosie: langs de constructie kan erosie optreden. Inspecties dienen plaats te vinden om te controleren of en zo ja hoeveel erosie er plaats vindt langs de constructie. Inspectie-intervallen zijn afhankelijk van de verwachte erosiesnelheid en het risico van overmatige ontgrondingen. De lengte van het inspectie-interval is te beschouwen als de lengte van de planperiode waarvoor het te eroderen constructie-onderdeel wordt gedimensioneerd;
- bodembescherming: ten behoeve van een calamiteit zijn de deuren en bewegingswerken ontworpen om bij stroomsnelheid van 4 m/s nog te kunnen sluiten. Indien dit zich voordoet zal het stortebed deels eroderen en nadien hersteld moeten worden.

Referenties B8

- B8.1 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, maart 1999 (groene versie).
- B8.2 Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering, CUR Report 169, Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Gouda, The Netherlands, June 1995.
- B8.3 Ontgrondingen door stroom en golven, Jorissen, R.E., PATO-cursus Ontwerp, beheer en onderhoud waterkeringen deel III, OW-14, april 1993.

B9 Praktijkvoorbeeld schutsluis

Een schutsluis welke in het kader van de Deltawet in een benedenrivierengebied is gebouwd, wordt in deze bijlage aan de ontwerpcontroles van bijlagen B1 tot en met B5 worden onderworpen. Hiertoe dient het stroomschema van figuur B1.2 uit bijlage B1 als leidraad.

De bijlage is primair bedoeld om ontwerpers en constructeurs inzicht te geven in hoe de ontwerpcontroles dienen te worden uitgevoerd. De nadruk ligt op de functie waterkeren. Hierdoor is niet de volledige constructie getoetst aan alle geldende leidraden en voorschriften. Daar de schutsluis ontworpen en gebouwd is eind jaren tachtig, blijkt dat volgens de huidige Leidraad Kunstwerken niet alle onderdelen voldoen aan de gestelde eisen.

De opbouw van de bijlage is als volgt: na een korte beschrijving van de schutsluis (B9.1) volgt een overzicht van de belangrijkste hydraulische belastingen (B9.2). In B9.3 is de kerende hoogte van de deuren bepaald. Vervolgens is de betrouwbaarheid van de sluiting getoetst middels de gedetailleerde methode (B9.4). Afsluitend is in B9.5 beschreven de toetsing op sterkte en stabiliteit en de invloed van de planperiode op diverse onderdelen.

B9.1 Beschrijving van de schutsluis

De beschouwde schutsluis is gelegen in de buitenhaven en is gebouwd ter vervanging van bestaande keersluizen in de vroegere waterkering. Een nieuwe Deltadijk vormt de huidige waterkering. Het buitenhoofd van de schutsluis zal aansluiten op deze nieuwe Deltadijk. Een tweede waterkering wordt gevormd door de hoge kolkwanden en het binnenhoofd van de schutsluis. Het binnenhoofd is gebouwd in het sluishoofd van de vroegere keersluis.

De schutsluis met kolkafmetingen van 50 x 10 m² is uitgevoerd met 2 enkele draaideuren in de hoofden, die een doorvaartbreedte hebben van 8 m. De hoofden bevinden zich asymmetrisch van de kolkas waardoor een zogenaamde bajonetsluis ontstaat. De deuren worden voorzien van een grendelmechanisme, waarmee het mogelijk wordt een negatief verval te keren.

De schutkolk bestaat uit een niet verankerde wand bestaande uit geheide Peine-profielen 2 x Psp502, h.o.h. 2 m, met daartussen een vulplank PZ610. Een 1 meter dikke vloer van onderwaterbeton doet dienst als

stempel. Deze onderwaterbetonvloer doet gelijktijdig dienst als bodembescherming voor de in- en uitvarende schepen. De kolkwanden zijn afgewerkt met een betonnen deksloof, bovenzijde op NAP +5,25 m.

De normfrequentie van de dijkkring bedraagt 1/10.000. Naast het schutten van beroeps- en recreatievaart heeft de sluis ook een functie met betrekking tot waterkeren en doorvoer van water. De sluis is voorzien van 2 enkele stalen draaideuren met looppaden. Elke deur is voorzien van een hydraulisch bewegingsinrichting en een grendelinrichting om een negatief verval te kunnen keren. Het vullen en ledigen van de kolk en het spuien vindt plaats middels in de deuren geplaatste tweezijdig kerende schuiven.

De bediening van de sluis is centraal, hetgeen wil zeggen dat alle scheepvaartseinen en de deuren vanuit één centrale post worden bediend. Voor de bewaking zijn TV, geluid en intercom beschikbaar. Per sluishoofd is er een eenvoudige decentrale bedieningsmogelijkheid voor lokaal onderhoud en noodgevallen. Bij netspanningsuitval zal automatisch het noodstroomaggregaat starten.

In de sluiskolk, buiten- en binnenhaven zijn drukniveau meters geïnstalleerd. Bij overschrijding van het maximale binnenwaterpeil van NAP +0,75 m wordt automatisch het hoogheemraadschap gealarmeerd.

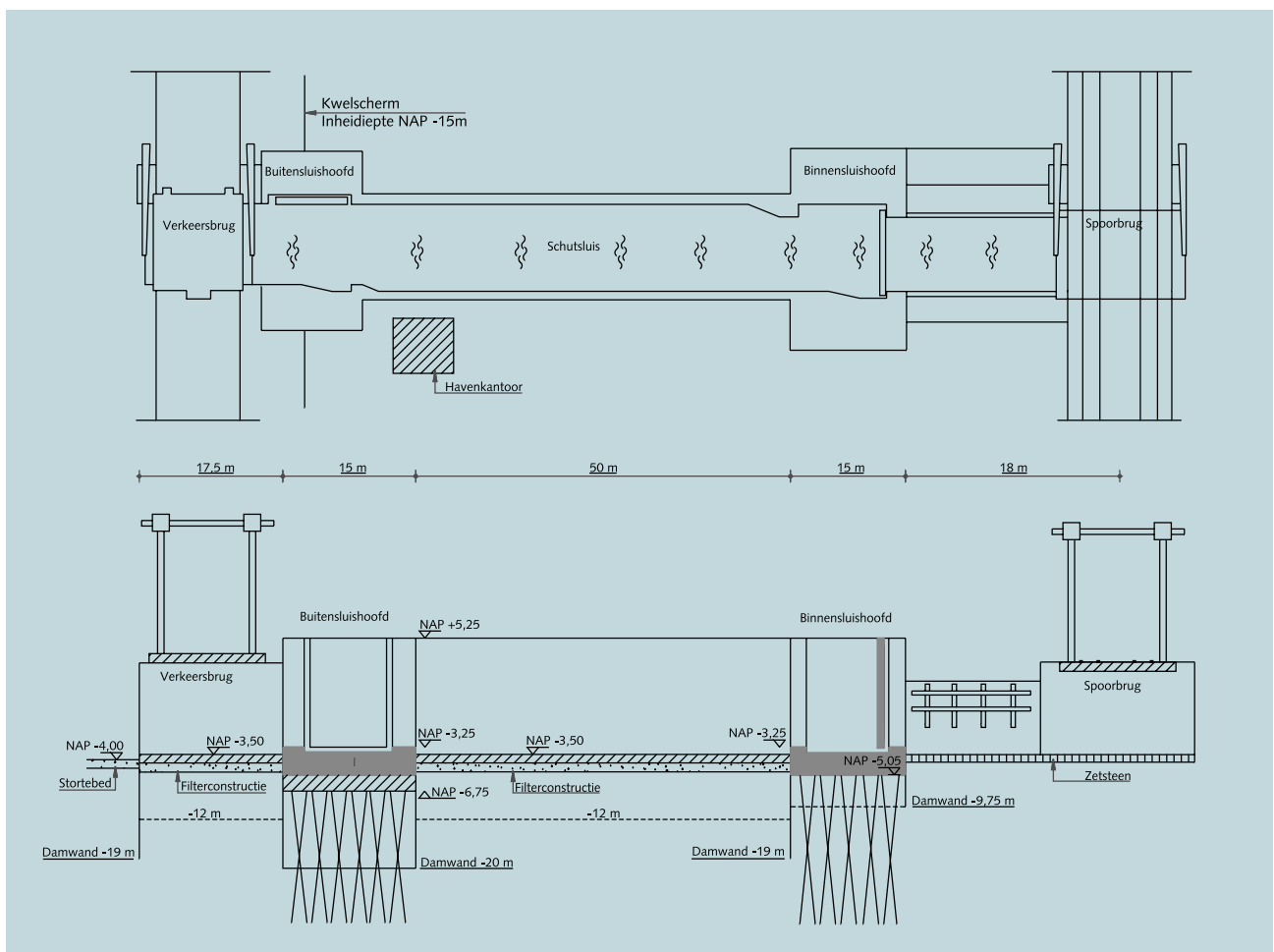
Met betrekking tot het hoogwater waarschuwingssysteem is sprake van twee onafhankelijke continue niveaumeters en twee functionarissen die belast zijn met de aflezing. Dit kan worden opgevat als twee onafhankelijke waarschuwingssystemen. De niveaumeters worden maandelijks getest.

De procedures zijn schriftelijk geregeld, inclusief een stand-by regeling. Ook zijn er goede controlemogelijkheden op uitgevoerde handelingen en voldoende mogelijkheden (tijd) voor herstel. Er is geen terugmeldingsplicht. Bij storingen in het sluitingsmechanisme is geen mogelijkheid voor handbediening of een ander alternatief besturingssysteem aanwezig. Wel is er een noodaggregaat beschikbaar in geval van storingen in de energielevering.

Figuur B9.1 geeft een schematische tekening van de sluis. De belangrijkste gegevens met betrekking tot de geometrie van de sluis zijn:

- hoogte sluisplateau: NAP + 5,25 m;
- hoogte deuren: NAP + 5,25 m;
- hoogte achterliggende kade: NAP + 1,50 m;
- drempeldiepte: NAP – 3,25 m;
- bodemdiepte: NAP – 3,50 m;
- onderkant vloer buitenhoofd: NAP – 6,75 m;
- onderkant vloer binnenhoofd: NAP – 5,05 m;
- doorvaartwijdte hoofden: 8,00 m;
- kolkbreedte: 10,00 m;
- kolklength: 50,00 m.

Figuur B9.1.
Overzicht schutsluis



B9.2 Hydraulische belastingen

In tabel B9.1 zijn de waarden van de hydraulische belastingen samengevat. De overige belastingen (grondruk, grondwaterdruk, etc.) zullen in samenhang met de relevante belastingtoestanden behandeld worden.

Belasting	waarde	herhalingstijd R [jaar]
buitenwaterstanden:		
- slotgemiddelde, hoogwater 1981.0	NAP +1,14 m	
- slotgemiddelde, laagwater 1981.0	NAP -0,51 m	
- hoogwater	NAP +2,30 m	1
- grenspeil	NAP +2,50 m	
- stormvloed	NAP +4,55 m (MHW)	10.000
- laagwater	NAP -1,32 m	1
- extreem laagwater ¹⁾	circa NAP -2,50 m	10.000
binnenwaterstand	NAP +0,25 m / NAP +0,75 m	
golfrandvoorwaarden ²⁾	Hs = 0,50 m; T = 2,5 s	
schroefstraal ³⁾	U = 2,50 m/s	

Tabel B9.1
Hydraulische belastingen bij herhalingstijd R

- 1) Bepaald door extrapolatie van gegevens uit diverse meerjarige periodes en door een evaluatie van windopzetgegevens.
- 2) Bepaald met statistische windgegevens.
- 3) Bepaald voor schip 50 x 6,6 x 2,4 m³, met motorvermogen 400 kW, dubbel roer, bij waterdiepte 2,90 m. Uit waterloopkundig onderzoek bleek dat de ledigingsstraal en retourstroom niet maatgevend waren.

B9.3 Kerende hoogte

De deurhoogte is NAP + 5,25 m, dit is gelijk aan het sluisplateau, de kolkwanden en de aansluitende grondlichamen. Het oppervlak van de achtergelegen boezem bedraagt 5,5 ha. In de Deltadijk vormt de schutsluis de enige overlaat in de boezem.

Voor controle of de toegepaste deurhoogte voldoet, wordt de aanleghoogte bepaald bij golfoverslag. Deze volgt uit:

$$h_{\text{aanleg}} = \text{MHW} + h_{\text{hws}} + h_{\text{bbsl}} + h_{\text{ovs}} + h_{\text{lb}} + h_{\text{z+k}}$$

met: h_{aanleg} = de benodigde aanleghoogte van de deuren
 MHW = Maatgevend Hoog Water met een faalkans van 1 / 10.000
 = NAP +4,55 m
 h_{hws} = hoogwaterstijging en verhoging van de waterstand door morfologische ontwikkelingen gedurende de planperiode, voor zover deze niet in het MHW zijn verdisconteerd = 0,20 m
 h_{bsl} = verhoging van de waterstand door seiches, bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing = 0,00 m
 h_{ovs} = benodigde hoogte in verband met golfoverslag. De toelaatbare overslag volgt uit het kombergend vermogen. Daar het kombergend vermogen beperkt is, wordt een waakhoogte (afkomstig uit het oorspronkelijke ontwerp) verondersteld van 0,50 m
 h_{lb} = verhoging in verband met lokale bodemdaling = 0,00 m
 h_{zkl} = verhoging in verband met zetting en klink; voor het op palen en damwandprofielen in het pleistocene zandpakket gefundeerde sluishoofden respectievelijk kolkwanden wordt dit geschat op 0,01 m

De minimale waakhoogte $w \geq 0,30$ m, ofwel $h_{\text{ovs}} \geq 0,30$ m. Met de aangehouden waakhoogte wordt hieraan voldaan.

Gevonden wordt: $h_{\text{aanleg}} = \text{NAP} + 4,55 + 0,20 + 0,50 + 0,01 = \text{NAP} + 5,26$ m. De schutsluis zou net niet voldoen (hoogte deuren en sluisplateau is NAP +5,25 m), echter de aangehouden waakhoogte is aan de ruime kant en zou op basis van nauwkeuriger berekening van de vereiste overslaghoogte mogelijk nog enigszins verlaagd kunnen worden.

B9.4 Betrouwbaarheid sluiting

De schutsluis is in beginsel permanent hoogwater kerend. Analyse van de kans op falen van de waterkerende functie ten gevolge van niet sluiten begint dan ook bij inventarisatie van beoogd gebruik. Als de sluis niet wordt gebruikt voor spuien en/of inlaten is er geen controle nodig. Spuien vindt plaats bij geopende buitendeur middels openingen in de binnendeur. De sluis is dus altijd dicht behoudens mogelijk falen van de drie nivelleermiddelen. De kans dat één van de schuiven niet gesloten kan worden bij optredend hoog water is nihil. Daarnaast is er voldoende tijd om een haperende sluiting te herstellen. Stel dat de sluis wel incidenteel mag worden gebruikt voor spuien of inla-

ten (en dan dus helemaal open staat), dan is controle 'niet sluiten' wel nodig. De overschrijdingsfrequentie van het open-keerpeil is dan de frequentie van een buitenwaterstand hoger dan door achterliggende kaden gekeerd kan worden, gecombineerd met kans dat sluis op dat moment open staat. Bij een keersluis is deze kans ongeveer 1,0 maar bij een schutsluis die soms open wordt gezet natuurlijk veel lager.

B9.5 Sterkte en stabiliteit

Voor een waterkerend kunstwerk als een schutsluis geldt dat de constructie van het type I is (waterkerende functie geheel zelfstandig vervullen). Hiertoe moet de sluis voldoen aan de (top)eis voor sterkte en stabiliteit, uitgedrukt in een kans op constructief bezwijken van:

$$P\{\text{bezwijken} \mid h = \text{MHW}\} < 0,01 * \text{norm.}$$

Bij het ontwerp van de keersluis zijn de volgende faalmechanismen gecontroleerd:

- controle kwelschermen op piping (B9.5.1);
- sterkte stalen puntdeuren (B9.5.2);
- sterkte betonnen sluiswanden (B9.5.3);
- stabiliteit bodembescherming (B9.5.4);
- stabiliteit kolkvloer (B9.5.5);
- ontgrondingen (B9.5.6);
- toelaatbaar paal draagvermogen (B9.5.7).

Achtereenvolgens zullen de diverse faalmechanismen worden getoetst aan bovenstaande eis. Naast bovengenoemde faalmechanismen dient uiteraard ook het mogelijk uitvaren van de sluisdeuren te worden getoetst. Wegens het gebrek van met name scheepvaartgegevens is bij het toenmalige ontwerp de mogelijkheid van het uitvaren van de sluisdeur niet verder meegenomen.

B9.5.1 Controle kwelschermen op piping

Buitenhoofd

Voor piping is de volgende belastingsituatie aangehouden: extreem hoogwater NAP +4,55 m, bijbehorend minimaal peil in de kolk NAP +0,25 m.

Onder het buitenhoofd zijn twee kwelschermen toegepast. Gezien de verticale kwelwegen is een eerste toetsing uitgevoerd volgens de methode Lane, zie het Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen [B9.1]:

$$L \geq C_{w;creep} (H_{bu} - H_{bi})$$

$C_{w;creep}$ = coëfficiënt voor het pleistocene zand = 7 (fijn zand)

H_{bu} = buitenwaterstand = NAP +4,55 m

H_{bi} = binnenwaterstand = NAP +0,25 m

Waaruit volgt: $L \geq 31$ m.

Aan beide zijden van het sluishoofd is een onderwaterbetonvloer aangebracht met daaronder een filterconstructie. Hierin zijn drainagebuizen opgenomen die in de inkassingen van de kolk- en vleugelwanden naar boven zijn geleid. De kwellingte volgt dus uit de wanden onder het buitenhoofd. De lengte is gelijk aan 2 schermen $\times 2 \times 13$ m = 52 m. Er is geen horizontale kwellingte meegerekend, daar het sluishoofd gefundeerd is op palen. De kwellingte L is groter dan 31 m, dus voldoet.

Binnenhoofd

Aan de binnenzijde van het sluishoofd is een laag zetsteen op een filterdoek aanwezig. Aan de kolkzijde sluit de onderwaterbetonvloer aan. De kwellingte wordt bepaald uit de twee toegepaste schermen onder het binnenhoofd. Toegepast zijn $2 \times 13,6 + 2 \times 4,35$ m = 35,90 m. Er is geen horizontale kwellingte meegerekend (ook dit sluishoofd is gefundeerd op palen). De kwellingte L is dus voldoende, zelfs indien het binnenhoofd onverhoopt de MHW situatie zou moeten keren (vereiste kwelweglengte is dan 31 meter).

B9.5.2 Sterkte stalen puntdeuren

De deuren zijn destijds ontworpen op de volgende belastingen:

Gebruiksfase

- extreem hoogwater: buitenpeil NAP +4,55 m, binnenpeil NAP + 0,25 m;
- extreem laagwater: buitenpeil NAP –2,50 m, binnenpeil NAP +0,75 m;

Ontwerpparameters:

- Deur

bovenkant NAP +5,25 m; onderkant NAP –3,50 m (verdieping sluishoofd NAP –3,75 m);

- Golfbelasting buitenzijde

- stilwaterstand op afstand van de deur: MHW = NAP +4,55 m;
- golfhoogte:

$$H_{s,refl} = (1 + \chi) H_s = K_s K_r K_d (1 + \chi) H_{s,0} = 1 * 1 * 1 * (1 + 1) * 0,50 = 1,00 \text{ m};$$

- ontwerpgolfhoogte:

$$H_{d,refl} = 2,2 H_{s,refl} = 2,2 * 1,00 = 2,20 \text{ m};$$

- berekening maximale golfhoogte voor de constructie:

waterdiepte $D_{0,5L}$ op een halve golflengte voor de constructie 8,05 m, golfperiode 2,5 s, golflengte $L \approx 10$ m (te berekenen met formule B5.6).

$$H_d = 0,2L \left(\tanh \left(\frac{2\pi D_{0,5L}}{L} \right) \right) + 0,2 \Delta 10 \left(\tanh \left(\frac{2\pi \Delta 8,05}{10} \right) \right) = 1,99 \text{ m}$$

Dit betekent dat de maximale hoogte van de staande golf voor de constructie 1,99 meter zal bedragen in plaats van 2,20 meter.

Classificatie van de golfbelasting aan de hand van stroomschema B5.4 toont aan dat sprake is van quasi staande golven (immers $h_b^* < 0,3$ en $H_s^* = H_s/h = 0,5/8,05 < 0,35$), waarmee vast staat dat de golfbelasting kan worden berekend met Sainflou. Niettemin wordt de golfbelasting berekend met Goda omdat dit meestal een wat scherpere waarde oplevert.

- golfbelasting volgens Goda:

$$\beta = 0^\circ \text{ (loodrechte wand)}$$

$$h_b = 8,05 \text{ m (diepte op } 5H_d \text{ van de deur)}$$

$$H_d = 1,10 \text{ m (ontwerpgolfhoogte van de invallende golven)}$$

$$D = 8,05 \text{ m (waterdiepte boven de toplaag van de drempel)}$$

$$h' = 8,05 \text{ m (waterdiepte boven funderingsvlak van de drempel)}$$

$$h = 8,55 \text{ m (waterdiepte voor de drempel)}$$

$$L_d = 10 \text{ m}$$

$$B_M = 27 \text{ m (bermbreedte voor de constructie = lengte stortebed)}$$

$$h_c = 0,70 \text{ m (niveau bovenkant deur - niveau MHW)}$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1 \text{ (rechte wand)}$$

$$\zeta_1 = 0,62 \left(0,5 \frac{4\pi h/L_d}{\sinh(4\pi h/L_d)} \right)^2 + 0,62 \left(0,5 \frac{4\pi \Delta 8,55/10}{\sinh(4\pi \Delta 8,55/10)} \right)^2 = 0,60$$

$$\zeta^* = \max(\zeta_2; \zeta_1)$$

$$\zeta_2 = \min \left(\frac{(14 D/h_b)(H_d/D)^2}{3}; \frac{2D}{H_d} \right) =$$

$$\min \left(\frac{(14 \cdot 8,05/8,05)(1,10/8,05)^2}{3}; \frac{2 \cdot 8,05}{1,10} \right) = 0,00$$

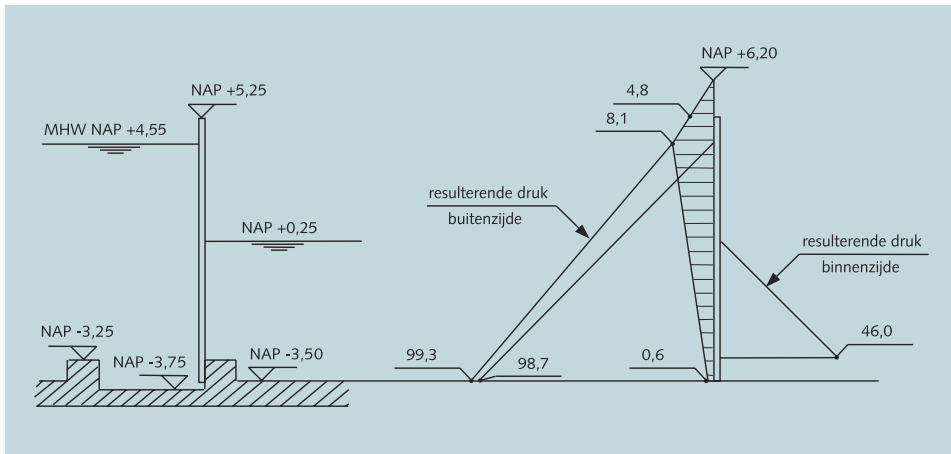
$$\zeta_1 = \zeta_n \zeta_m$$

$$\begin{aligned}
t_{11} &= 0,93 \frac{B_M}{L_d} \cdot 4 \cdot 0,12 \cdot 2 \cdot 0,36 \frac{h^4 D}{h} \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 1 \\
&= 0,93 \frac{27}{10} \cdot 4 \cdot 0,12 \cdot 2 \cdot 0,36 \frac{8,55^4 \cdot 8,05}{8,55} \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 1 \quad | \quad 2,20 \\
t_1 &= 15 t_{11} = 15 \Delta 2,20 = 33,00 \\
t_{22} &= 40,36 \frac{B_M}{L_d} \cdot 4 \cdot 0,12 \cdot 2 \cdot 0,93 \frac{h^4 D}{h} \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 1 \\
&= 40,36 \frac{27}{10} \cdot 4 \cdot 0,12 \cdot 2 \cdot 0,93 \frac{8,55^4 \cdot 8,05}{8,55} \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 1 \quad | \quad 41,43 \\
t_2 &= 4,9 t_{22} = 4,9 \Delta 41,43 = 47,00 \\
\zeta_n &= \frac{\cos(t_2)}{\cosh(t_1)} = \frac{\cos(47,00)}{\cosh(33,00)} = 0,00 \\
\zeta_m &= \min \left(\frac{H_d}{D}, 2 \right) = \min \left(\frac{1,10}{8,05}, 2 \right) = 0,14 \\
\zeta_l &= \zeta_n \zeta_m = 0,00 \Delta 0,14 = 0,00 \\
\zeta^* &= \max(\zeta_2; \zeta_l) = \max(0,00; 0,00) = 0,00 \\
\zeta_3 &= 14 \frac{h'}{h} \frac{B}{L_d} \cdot 4 \cdot \frac{1}{\cosh(2\phi h/L_d)} \quad | \quad 14 \frac{8,05}{8,55} \frac{B}{L_d} \cdot 4 \cdot \frac{1}{\cosh(2\phi \Delta 8,55/10)} \quad | \quad 0,07 \\
\zeta_4 &= 14 \frac{h_c^*}{\xi^*} \\
\xi^* &= 0,75(12 \cos(\eta)) \zeta_1 H_d = 0,75 \Delta (12 \cos(0^\circ)) \Delta 1 \Delta 1,10 = 1,65 \text{ m} \\
h_c^* &= \min(\xi^*; h_c) = \min(1,65; 0,70) = 0,70 \\
\zeta_4 &= 14 \frac{h_c^*}{\xi^*} = 14 \frac{0,70}{1,65} = 0,58
\end{aligned}$$

- De dynamische drukken worden hiermee:

$$\begin{aligned}
p_1 &= 0,5(12 \cos(\eta))(\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3^* \cos^2(\eta)) \rho H_d \\
&= 0,5(12 \cos(0^\circ))(1 \Delta 0,60 \Delta 1 \Delta 0,00 \Delta \cos^2(0^\circ)) \Delta 1000 \Delta 9,81 \Delta 1,10 \Delta 10^{-43} \quad | \quad 6,5 \text{ kPa} \\
p_3 &= \zeta_3 p_1 = 0,07 \Delta 6,5 = 0,5 \text{ kPa} \\
p_4 &= \zeta_4 p_1 = 0,58 \Delta 6,5 = 3,8 \text{ kPa}
\end{aligned}$$

De totale druk op de deur volgt uit superpositie van de dynamische drukken en de hydrostatische drukken, zie figuur B9.2. Voor de rekenwaarde van de belasting dienen de onderhavige drukken te worden vermenigvuldigd met een belastingsfactor 1,25 (zie Bijlage B5, Tabel B5.2). Controle van de stalen deur geschiedt vervolgens conform NEN 6770. Uit het archiefonderzoek is niet naar voren gekomen of de deuren ook op ijs- en aanvaarbelasting zijn ontworpen.



*Figuur B9.2
Golfdrukken op deuren
buitenhoofd*

Berekening volgens Sainflou levert in deze situatie beduidend hogere golfdrukken op. De maximale golfdruk ter hoogte van de middenwaterstand bedraagt dan 14,5 kPa. Dit is ruim twee keer zo groot als de berekende waarde van 6,5 kPa volgens Goda.

Tot slot wordt opgemerkt dat ook in dit geval de tijdsafhankelijke effecten van extra hoogwaterstijging en zetting in de beoogde levensduur van het kunstwerk (gezamenlijk $0,20 + 0,01 = 0,21$ m) nog zouden moeten worden meegenomen indien het een definitieve ontwerpberekening betreft.

B9.5.3 Sterkte betonnen sluiswanden

De horizontale belastingen op de sluiswanden kunnen worden gesplitst in:

- **gronddruk**

De NEN 6740 stelt dat korreldrukken strikt genomen niet in het domein van de belastingen vallen, daar ze in sterke mate reageren op de vervormingen van de constructies. Golfbelastingen en op/afwaaiing zijn hier buiten beschouwing gelaten. Voor de gronddrukcoëfficiënt geldt (NEN 6740, art. 12.4.5):

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

Echter voor starre wanden die zand keren en onder invloed staan van grotere fluctuerende waterstanden en temperaturen kan deze factor oplopen tot een waarde van 2 (NEN 6740, art. 12.2.3).

In de berekening van de belasting wordt gesteld $K_0 = 1$. Bij de circa 9 meter hoge wand die als niet volledig star beschouwd kan worden is 1 een conservatieve waarde.

- **(grond)waterdruk**

Als gevolg van de variatie in waterstanden zal de grondwaterstand ook aan schommelingen onderhevig zijn. Voor de bepaling van de belastingen dienen de verschillende optredende (grond)waterstanden te wor-

den gecombineerd. Daarna kan de totale horizontale gronddruk op de sluiswand (van NAP +5,25 m tot NAP –3,75 m) voor de verschillende grenstoestanden worden bepaald. Destijds is op deze wijze de gemiddelde belasting bepaald en aangenomen dat deze belasting niet dominant is. Uitgebreidere berekeningen zouden dit kunnen verifiëren.

Tabel B9.2
Belastingssituaties sluis-
wand

Grenstoestand	boven- belasting	grond- waterstand	waterstand in sluiskolk	sluiswand en aanaarding
Type 1A a) laagwater	20 kN/m ²	NAP –2,50 m ¹⁾	NAP –2,00 m ²⁾	NAP +5,25 m
b) hoogwater	20 kN/m ²	NAP +4,55 m ¹⁾	NAP +0,75 m ²⁾	NAP +5,25 m
c) bouwphase ³⁾	20 kN/m ²			
type 2 ⁴⁾				

- 1) Hierbij is uitgegaan dat er geen faseverschil aanwezig is tussen grondwaterstand en buitenwaterstand (veilige aanname).
- 2) Voor de berekening aangehouden.
- 3) Uit het archiefonderzoek is niet bekend geworden op welke bouwfasen de sluiswanden zijn ontworpen. Uiteraard dienen deze wel te worden aanschouwd. In NEN 6740 wordt niet ingegaan op belastingen door grond en waterdruk tijdens de bouw. Dit betekent dat de bouwphase als uiterste grenstoestand type 1A dient te worden beschouwd, waarbij de belastingfactoren gelijk zijn aan die voor de permanente situatie.
- 4) Deze grenstoestand is met name van belang voor de controle van de scheurwijdte van de betonnen sluiswand. Als maatgevend kan hier de langdurig optredende belastingssituatie worden aangehouden.

Opgemerkt wordt dat de grond en het grondwater ter plaatse van de sluishoofden niet tot aan de bovenkant van het sluisplateau reiken, daar kelders onderdeel vormen van de constructie, waarin bewegingswerken zijn opgenomen.

Bij de bepaling van de rekenwaarde van de resulterende druk op de sluiswand, uitgaande van bovenstaande belastingssituaties, geldt voor de partiele factoren het volgende:

- **materiaalfactor**

De materiaalfactor voor de volumieke massa van grond bedraagt $\gamma_m = 1$ (NEN 6740, art. 8.9: ook bij uiterste grenstoestand geldt $\gamma_m = 1$, indien een verhoging van de waarde van de volumieke massa tot een ongunstiger resultaat leidt);

- **belastingfactor**

Er is sprake van een dominante belasting door de buitenwaterstand, in combinatie met grond- en grondwaterdrukken (zie tabel B9.2). Het betreft hier geen zuiver grondmechanische verificatie. Dit betekent een belastingfactor 1,2 op de gronddruk en de grondwaterdruk moet worden gehanteerd:

$$F_{\text{hor;d}} = 1,2 F_{\text{hor;grond;rep}} + 1,2 F_{\text{hor;water;rep}}$$

Nadat bovenstaande belastingen uitgerekend zijn kan de betonconstructie gecontroleerd worden volgens NEN 6720. In tabel B9.3 zijn de benodigde controles met bijbehorende materiaalfactoren samengevat. De controles zijn niet verder uitgewerkt.

controle	grenstoestand	materiaalfactor	
moment	type 1A	betonstaal	$\gamma_m = 1,15$
		betondruk	$\gamma_m = 1,20$
		betontrek	$\gamma_m = 1,40$
dwarskracht	type 1A	schuifspanning	$\gamma_m = 1,40$
scheurwijdte en toelaatbare doorbuiging	type 2	materiaalfactor	$\gamma_m = 1,00$

Tabel B9.3 Controles en materiaalfactoren betonconstructie

B9.5.4 Stabiliteit bodembescherming

De berekende stroomsnelheden kunnen als rekenwaarden worden beschouwd (partiële factor = 1,0). De steenbestorting kan worden bepaald met behulp van de door Pilarczyk aangepaste formule van Isbash/Shields, zie CUR Report 169 [B9.2]:

$$\frac{U^2 / 2g}{\Delta' D'} \geq \frac{\Phi_{cr}}{0,035} \Theta_h' k_{sl} k_t^{42} \frac{1}{A_{sc}}$$

met: 0,035 = referentiewaarde aan de kritieke Shields parameter [-].

k_t = turbulentiefactor = 1,5 [-] (schroefstraal).

k_{sl} = hellingfactor [-] = 1, (horizontale bodem).

Λ_h' = diepte factor [-] = 1, ($h/D > 5$).

Ψ_{cr}' = systeemafhankelijke Shields stabiliteitsgetal [-] = 0,03.

D' = D_{n50} = nominale diameter [m].

Δ' = relatieve dichtheid van de stortsteen [-] = 1,65.

Φ_{sc} = geometrische stabiliteitsfactor voor stroming [-] = 0,75.

U = horizontale diepte-gemiddelde stroomsnelheid = 2,50 m/s.
Dit blijkt de maatgevende stroomsnelheid te zijn.

Uit bovenstaande formule volgt dat $D_{n50} \geq 0,38$ m. Toepassen van stortsteen 60-300 kg voldoet. Hiervoor geldt dat D_{n50} mag variëren tussen de 0,38 m en 0,44 m.

B9.5.5 Stabiliteit kolkvloer

De kolkvloer en de bodembescherming voor het buitensluishoofd bestaat uit een onderwaterbetonvloer met daaronder een filterconstructie. De vloer dient naast de functie waterkeren ook als stempeling van de kolkwanden (Peine-wand) en de landhoofden van de verkeersbrug. In de filterconstructie zijn drainagebuizen $\varnothing$ 50 mm h.o.h. 2 m, opgenomen, waarmee wateroverspanning zoveel mogelijk teniet wordt gedaan. Er zal echter wel enige opwaartse druk onder de vloer optreden als gevolg van een faseverschil. Hierop dient de vloer te zijn ontworpen.

Voor de belastingfactoren geldt het volgende: het gewicht van de onderwaterbetonvloer werk gunstig, zodat hiervoor een factor $\gamma = 0,9$ aangehouden moet worden. Zowel de grondwaterdrukken als waterstanden in de kolk en erbuiten zijn wisselend, en dienen dus als veranderlijke belastingen te worden beschouwd. Dit betekent dat hiervoor een factor $\gamma = 1,25$ geldt.

B9.5.6 Ontgrondingen

Ontgrondingen buiten de betonnen vloer zijn voor de constructie van minder belang vanwege de verticale beëindiging van de constructie met een damwand. Onderhavige damwand maakte deel uit van de bouwkuip. Tussen damwand en zetsteen/stortsteen wordt de aansluiting verzorgd met een bitumineuze verbinding.

De bodemverdediging is aangebracht tussen de geleidewerken en tot 25 m voorbij het geleidewerk. Bij open geleidewerken is ook een verdediging tot 8 m erachter aangebracht. Bij de beëindiging van de bodembescherming zal de stroomsnelheid zo laag zijn dat nauwelijks transport van het bodemmateriaal te verwachten is, en zal de diepte van een eventuele ontgrondingskuil beperkt zijn. Aanbevolen wordt om de actuele bodemligging tijdens het beheer door regelmatige peilingen te monitoren, zodat indien nodig tijdige maatregelen kunnen worden getroffen.

Spuien van overtollig water zal gebeuren door schut- en spuiopeningen in de binnendeur. Doordat de berging van de achter gelegen haven gering is en in de kolk een betonnen vloer is aangebracht heeft dit geen gevolgen voor eventuele ontgrondingen.

B9.5.7 Toelaatbaar paal draagvermogen

De volgende belastinggevallen zijn aangehouden:

Tijdens de **bouwfase** treden de volgende belastingen op:

- eigen gewicht van de sluis;
- machines en installaties ten behoeve van de bouw;
- veranderlijke belasting;
- de paalfundering wordt niet op horizontale belasting berekend (aan weerszijde gelijkmatig aanvullen);

In de **gebruikersfase** zijn drie (maatgevende) belastingen te onderscheiden:

- de sluisdeuren geopend (incidenteel spuien);
- de sluisdeuren gesloten bij diverse waterstanden (zie berekening deuren);

Onderhoudsfase

- de sluis wordt niet droog gezet, de sluishoofden kunnen wel droog gezet worden.

NEN 6743 geeft een semi-probabilistische werkwijze ter bepaling van het totale draagvermogen van een palenveld, afhankelijk van het aantal palen en het aantal uitgevoerde sonderingen. Ter plaatse van de uitgevoerde sonderingen zijn de maximale draagkracht van de paalpunt $F_{r,max;punt}$ en de maximale schachtwrijvingskracht $F_{r,max;schacht}$ bepaald.

Alleen onder de sluishoofden zijn palen toegepast. Onder het buitenhoofd staan stalen buispalen $\varnothing 457 \times 10$ mm, helling 5:1. Onder het binnenhoofd zijn stalen buispalen $\varnothing 457 \times 10$ mm, helling 4:1 en MV palen, helling 4:1 toegepast. Alle palen reiken tot in het pleistocene zand.

De optredende belastingen zijn getoetst aan de NEN 6743. Voor toekomstig gebruik kan hiervoor het CUR-rapport 2001-4, Ontwerpregels voor trekpalen worden gebruikt.

B9.5.8 Invloed planperiode

De lengte van de planperiode speelt een rol bij:

- verhoging van de waterstand door hoogwaterstijging en morfologische ontwikkelingen. Deze is veelal reeds verwerkt in de waterstandsgegevens (overschrijdingslijn, MHW);
- zetting: doordat de sluis op palen is gefundeerd in het Pleistocene zand zal de zetting te verwaarlozen zijn;
- vermoeiing: de stalen onderdelen kunnen bij frequente wisselbelasting

sterkte verliezen door vermoeiing. Controle van relevante onderdelen volgens NEN 6788 (het ontwerpen van stalen bruggen: VOSB 1995) of de NEN 6786 en ontwerp-NEN 6787 (VOBB: voorschriften voor het ontwerp van beweegbare bruggen) of NEN 2063 (Booglassen; op vermoeiing belaste constructies) verzekert een veilige constructie op dit aspect;

- corrosie: de stalen onderdelen zullen sterkte verliezen door corrosie. Stalen onderdelen dienen met een zekere overmaat gedimensioneerd te worden om voldoende veiligheid tot het einde van de planperiode zeker te stellen. De grootte van de overmaat hangt af van de lengte van de planperiode, de corrosiesnelheid, eventuele coating en/of bescherming en van de onderhouds- en inspectiefrequentie. Bovenstaande punten dienen geïntegreerd te worden in het ontwerp-proces van de staalconstructie;
- slijtage: bewegende onderdelen kunnen slijten. Overdimensionering of frequente inspectie en onderhoud dient plaats te vinden. Frequentie van onderhoud en inspectie zijn afhankelijk van de snelheid van slijtage en de planperiode waarover het betreffende onderdeel is ontworpen;
- erosie: langs de constructie kan erosie optreden. Inspecties dienen plaats te vinden om te controleren of en zo ja hoeveel erosie er plaats vindt langs de constructie. Inspectie-intervallen zijn afhankelijk van de verwachte erosiesnelheid en het risico van overmatige ontgrondingen. De lengte van het inspectie-interval is te beschouwen als de lengte van de planperiode waarvoor het te eroderen constructie-onderdeel wordt gedimensioneerd.

Referenties B9

- B9.1 Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, maart 1999 (groene versie).
- B9.2 Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering, CUR Report 169, Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Gouda, The Netherlands, June 1995.

Appendix B9 Informatieblad

Onderstaande lijst heeft niet de intentie om compleet en/of volledig te zijn, maar dient slechts als handreiking voor de ontwerper en beheerder. Per project dienen de specifieke aandachtspunten, partijen, locatiegebonden zaken, etc. te worden toegevoegd.

onderdeel	door wie uitgevoerd	waaraan getoetst	wel/niet gerealiseerd
vastleggen betrokken partijen vastleggen Programma van Eisen	Adviesbureau Adviesbureau / waterschap	n.v.t. wens gebruiker; Wet op de waterkering; Grondslagen voor waterkeren TAW; TAW-Leidraad Kunstwerken	
vergunningen	Adviesbureau	geldende wetten	
milieu	Adviesbureau	Milieu Effect Rapportage (MER)	
waterhuishouding	Adviesbureau	Bevoegd Gezag; Waterschap	
scheepvaart	Adviesbureau	Rijkswaterstaat; havenbedrijf	
nutsbedrijven	Adviesbureau	n.v.t.	
instandhouding waterkering in bouwfase	Waterschap	Wet op de waterkering	
funderingen	Adviesbureau	NEN 6740 (Eurocode ⁷)	
bodembescherming	Adviesbureau	CUR-rapport 169	
damwanden, kwelschermen	Adviesbureau	Technisch rapport Zandmeevoerende wellen (TAW); NEN 6740 (Eurocode ⁷); CUR-rapport 166	
damwanden, grondkerend	Adviesbureau	NEN 6740 (Eurocode ⁷); CUR-rapport 166	
betonconstructies	Adviesbureau	NEN 6702; NEN 6720	
metselwerk	Adviesbureau	NEN 6790 (Eurocode ⁶)	
afsluitmiddelen, staal	Adviesbureau	TAW-Leidraad Kunstwerken; NEN 6770 (Eurocode ³)	
afsluitmiddelen, aluminium	Adviesbureau	NEN 6710	
afsluitmiddelen, hout	Adviesbureau	NEN 6760 (Eurocode ⁵)	
afsluitmiddelen, kunststof	Adviesbureau	vigerende norm(en)	
bewegingswerken	Adviesbureau	TAW-Leidraad Toetsen op Veiligheid; TAW- Leidraad Kunstwerken	
ontgrondingen	Adviesbureau	Ontgrondingen door stroom en golven, PATO-cursus Ontwerp, beheer en onderhoud waterkeringen deel III, OW-14, april 1993; Shore Protection Manual.	
veiligheidsplan	Adviesbureau	geldende wetten	
calamiteitenplan	Adviesbureau	TAW-Leidraad Toetsen op Veiligheid; TAW-Leidraad Kunstwerken	
sluitingsprotocol	Adviesbureau	TAW-Leidraad Toetsen op Veiligheid; TAW-Leidraad Kunstwerken	
training gebruik	beheerder / waterschap	sluitingsprotocol	
beheer- en onderhoudsplan	Adviesbureau / waterschap	TAW-Leidraad Grondslagen voor waterkeren; TAW-Leidraad Kunstwerken	

De **Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW)** is een onafhankelijke adviescommissie, die gevraagd en ongevraagd de Minister van Verkeer en Waterstaat adviseert over alle technisch- wetenschappelijke aspecten van constructie en onderhoud van waterkeringen, met het oog op de veiligheidsfunctie van door deze waterkeringen beschermde gebieden. De TAW richt zich zowel op primaire- als secundaire waterkeringen en boezemkaden. Ook andere overheden kunnen de minister verzoeken de TAW te laten adviseren over complexe en specifieke waterkeringsproblemen.

Hiermee levert de TAW een bijdrage aan het realiseren van maatschappelijk vastgestelde veiligheidsnormen. In de leidraden, technische rapporten en adviezen, die door de TAW worden aangereikt, wordt nadrukkelijk rekening gehouden met andere functies van de waterkering, waaronder milieu, recreatie, verkeer, landschap en cultuurhistorie.

De **Dienst en Weg- en Waterbouwkunde (DWW)** van Rijkswaterstaat (RWS) voert de werkzaamheden van de TAW uit. Hierbij treedt zij op als opdrachtgever, bereidt zij de TAW-producten voor en levert zij de TAW-coördinator. Ook is de DWW, via de helpdesk Waterkeren, beschikbaar voor alle betrokkenen bij de waterschapszorg: waterschappen, provincies en Rijk.

Met vragen omtrent het werk van de TAW kan men zich wenden tot de DWW.

Postbus 5044
2600 GA Delft

telefoon:

015 - 25 18 436

015 - 25 18 450

(helpdesk Waterkeren)

fax:

015 - 25 18 568

Internet:

<http://www.tawinfo.nl>

e-mail: tawsecr@dww.rws.minvenw.nl

DWW-2003-059

ISBN 90-369-5544-0

