



Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

**RWS INFORMATIE**

## **Handreiking kwantificering aanvaarrisico**

Datum	6 november 2017
Status	Concept 1



## Colofon

Naam Standaard	Handreiking kwantificering aanvaarrisico
Beschrijving:	De handreiking kwantificering aanvaarrisico is een deelmethode van de Prestatie-gestuurde Risico-Analyse (PRA) voor het bepalen van de niet-beschikbaarheid van een complex, object of bouwdeel als gevolg van aanvaring.
Status:	Concept 1
Datum	6 november 2017
Versienummer:	1.0.2
Soort:	Handreiking
Verantwoordelijke PE:	Theo vd Gazelle, Jean-Luc Beguin
Gebruik in proces:	OAM, AenO
Netwerk:	HVWN, HWS en HWN
Object:	Alle RWS-infrastructuur
Hoofdkennisveld:	Assetmanagement
Kennisveld:	Risicogestuurd Beheer en Onderhoud (RGO)
Informatie:	Peter.blanker@rws.nl
Verantwoordelijke afdeling:	RWS GPO – afdeling Instandhouding Constructies & Onderhoud (ICO)
WW RWS Nummer:	#5555

### Overzicht wijzigingen

Versie	Datum	Wijzigingen
1.0	5-4-2017	Definitieve versie aangeboden aan WW RWS, opna-me bijlage voorbeeld gebeurtenissen- en foutenbomen
1.0.1	6-6-2017	Reviewcommentaren EG TM en CM verwerkt. Versie 1.0.1 opgenomen in WWRWS
1.0.2	6-11-2017	Uniformering standaarden onder Prestatiegestuurde Risicoanalyse (PRA)



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding 7</b>
1.1	Context 7
1.2	Doel 7
1.3	Stappen methode aanvaarrisico 8
1.3.1	Initiatie fase 8
1.3.2	Informatievergaringsfase 8
1.3.3	Analysefase 8
1.4	Randvoorwaarden en uitgangspunten bij de methode aanvaarrisico 8
1.4.1	Ontwerpsterkte 9
1.4.2	Vlootverdeling 9
1.4.3	Risico op een directe aanvaring 9
1.4.4	Conservatismen in de modelvorming 9
1.5	Producten van de analyse aanvaarrisico, uitgevoerd conform de methode 10
<b>2</b>	<b>Initiatiefase 11</b>
2.1	Aanpak scopebepaling 11
2.2	Overwegingen bij de vaststelling van de scope 12
2.2.1	Tijdshorizon analyse 12
2.2.2	Ontwerpvrijheid 12
2.2.3	Beweegbare versus vaste delen van het object 13
<b>3</b>	<b>Basisparameters aanvaarrisico – kans op aanvaring 14</b>
3.1	Aanpak voor het bepalen van de kans op aanvaring 14
3.1.1	Verschil in objecttypen – kering, keersluis, stuw, sluis, beweegbare brug 15
3.2	Opbouw combinatie van faalwijzen tot kans op aanvaring - gebeurtenissenboom 15
3.3	Invulling van de kans op aanvaring 17
3.3.1	Foutenbomen 17
3.3.2	Expert Judgement 18
3.3.3	Statistiek 19
3.4	Overwegingen bij het invullen van de kans op aanvaring 19
3.4.1	Aantoonbaarheid gebruikte data 19
3.4.2	Voor ieder constructiedeel en vaarwegdeel apart 19
<b>4</b>	<b>Basisparameters aanvaarrisico – verdelingskromme aanvaarenergie 20</b>
4.1	Aanpak van de opbouw van de verdelingskromme aanvaarenergie 20
4.2	Invulling van de verdelingskromme aanvaarenergie 21
4.2.1	Scheepskarakteristieken 21
4.2.2	Vaarsnelheden en zonering 22
4.2.3	Verdelingskromme aanvaringsenergie 24
<b>5</b>	<b>Aanvaarrisico Analysefase 27</b>
5.1	Aanpak van de analysefase aanvaarrisico 28
5.2	Invulling analysefase aanvaarrisico 29
5.3	Iteratieve karakter in de uitvoering van de analysefase aanvaarrisico 30
5.4	Berekening krachten 30
5.5	Overwegingen bij de analysefase aanvaarrisico 30
5.5.1	Direct versus indirect functieverlies 30

**6           Aandachtspunten bij de toepassing van de methode 32**

- 6.1       Inzet experts   32
- 6.2       Koppeling externe risico's 32
- 6.3       Contractuele borging   32
- 6.4       Borging resultaten van de analyse aanvaarrisico 33

**7           Definities 34**

**8           Literatuurlijst 37**

**Bijlage A   Stroomschema methode aanvaarrisico 39**

**Bijlage B   Generieke gebeurtenisboom schutsluis 40**

- B.1       Generiek proces sluispassage 40
- B.2       Gebeurtenissenboom aanvaarsscenario's sluis 40
- B.3       Foutenboom communicatie faalt 44
- B.4       Foutenboom sein 45
- B.5       Foutenboom sluis open 46
- B.6       Foutenboom invaren 47
- B.7       Foutenboom sluis dicht 48

**Bijlage C   Gebeurtenissenboom van een beweegbare brug 50**

- C.1       Generiek proces 50
- C.2       Gebeurtenissenboom scenario's aanvaring van beweegbare brug 50
- C.3       Foutenboom communicatie 55
- C.4       Foutenboom sein 56
- C.5       Foutenboom brug open 57
- C.6       Foutenboom invaren 58
- C.7       Foutenboom brug dicht 59

**Bijlage D   Zonering objecten 61**

- D.1       Zonering schutsluizen – 'gesloten, totdat...' 61
- D.2       Zonering beweegbare bruggen – 'gesloten, totdat...' 62
- D.3       Zonering keringen / keersluizen – 'open, tenzij...' 64
- D.4       Zonering stuw – 'dicht, tenzij...' 65

# 1 Inleiding

## 1.1 Context

In 2010 is door Rijkswaterstaat besloten tot het beheerst invoeren van risico-gestuurd beheer en onderhoud (RGO) binnen asset management (AM). Met RGO worden alle risico's voor het functioneren van een object in kaart gebracht, waardoor deze op een transparante en weloverwogen manier beheerst kunnen worden. Dit in tegenstelling tot traditioneel onderhoud dat veelal conditie-gestuurd is, gericht op het handhaven van een bepaald technisch niveau.

Het doel van RGO is om de risico's in het functioneren van de drie netwerken via beheer- en onderhoudsacties zodanig te beheersen, dat de afgesproken prestaties worden geleverd tegen minimale (levensduur)kosten. RGO maakt de relatie tussen de netwerkprestatie en onderhoud expliciet. In 2013 besloot het bestuur RWS tot een verdere doorontwikkeling van RGO om volledig in control te komen middels een vervolgtraject RGO, gevolgd door een herijking ervan in 2016.

Binnen Rijkswaterstaat is daartoe in 2016 de handreiking Prestatiegestuurde Risicoanalyses (PRA) opgesteld om het risicogestuurd denken toepasbaar te maken voor alle infrastructurele assets, die Rijkswaterstaat in beheer heeft [1]. Deze handreiking integreert en vervangt daarmee de Leidraad RAMS en de Leidraad risicogestuurd beheer en onderhoud.

Prestatiegestuurde risicoanalyse (PRA) is een belangrijk instrument. De PRA brengt de balans in beeld tussen de prestaties van een object, de risico's die de prestaties beïnvloeden en de kosten van het in stand houden van de prestatie. Met hulp van PRA's kan Rijkswaterstaat onderbouwde beslissingen nemen bij aanleg, beheer en onderhoud.

In aanvulling op deze handreiking zijn verschillende methodes inhoudelijk verder uitgewerkt en vastgelegd in aparte handreikingen. Zo ook deze standaard die de kwantitatieve risicoanalyse behandelt van de niet-beschikbaarheid van complexen, objecten en bouwdelen ten gevolge van aanvaringen.

## 1.2 Doel

Dit document beschrijft een generieke methode voor het bepalen van het aanvaarrisico. Het aanvaarrisico van een object of een constructiedeel heeft invloed op de betrouwbaarheid of beschikbaarheid van het object. Bijvoorbeeld, bij zowel schutsluizen als bij keersluizen, is er een kans dat een schip tegen een gesloten keermiddel aanvaart, waarna schade aan dat keermiddel ontstaat afhankelijk van de krachten van deze aanvaring. Wanneer deze schade groot genoeg is kan deze leiden tot het falen van de functie van het keermiddel.

De methode, zoals in dit document beschreven, beperkt zich tot het directe functieverlies van het object in termen van betrouwbaarheid of niet-beschikbaarheid van één of meerdere functies. Een aanvaring zonder functieverlies zal daarmee niet beschouwd worden door deze methode.

De methode, zoals beschreven in dit document, is generiek voor alle soorten beweegbare objecten in de vaarweg – keringen, keersluizen, sluizen, stuwen en

beweegbare bruggen. Voor niet beweegbare object(del)en voldoet het opvolgen van de ROK [2] in de aanleg- en onderhoudsfase.

### **1.3 Stappen methode aanvaarrisico**

De methode waarmee het aanvaarrisico wordt bepaald is in een aantal stappen onder te verdelen, elk met deelproducten die noodzakelijk zijn om uiteindelijk iets te kunnen zeggen over de kans dat een object functioneel faalt als gevolg van een aanvaring.

De stappen van de methode worden ter inleiding van de methode in deze paragraaf generiek beschreven, en zullen in de volgende hoofdstukken verder uitgediept worden. Een geheel stroomschema van de te doorlopen stappen wordt gepresenteerd in bijlage A.

#### **1.3.1 *Initiatie fase***

Voordat begonnen kan worden met het daadwerkelijke analyseren van het aanvaarrisico dient de scope van de analyse bepaald te worden. Deze vragen zijn wellicht vanzelfsprekend onder de noemer 'professioneel opdrachtgeverschap', maar zijn voor de volledigheid opgesomd voor de initiatie fase van het aanvaarrisico. Hoofdstuk 2 gaat hier dieper op in.

#### **1.3.2 *Informatievergaringsfase***

Met een juist afgebakende opdracht kan in twee parallelle stromen de parameters uit de methode aanvaarrisico ingevuld worden. Deze parameters vormen de basis voor de berekening van de frequentie van aanvaringen met verlies van beschikbaarheid van het object. Hoofdstuk 3 gaat uitgebreider in op de kans op aanvaring per schip. Hoofdstuk 4 geeft inzicht in hoe de vlootsamenstelling en het lokale vaargedrag leiden tot een verdeling van potentiële aanvaarenergieën.

#### **1.3.3 *Analysefase***

Met de aanvaarkans en de verdeling van de aanvaarenergieën vanuit de informatievergaringsfase als inputparameters, kan in de analysefase bepaald worden welk percentage van de aanvaringen kritisch is voor de functie van het object, gegeven de constructiesterkte van het object. Bij een object, of een ontwerp, waar de resulterende niet-beschikbaarheid niet voldoet aan de eis zal dit vervolgens een iteratief proces zijn, om tot voldoende succesvolle (her)ontwerpen van (bescherm)maatregelen te komen. Dit proces wordt nader toegelicht in hoofdstuk 5.

### **1.4 Randvoorwaarden en uitgangspunten bij de methode aanvaarrisico**

In de methode aanvaarrisico zitten een aantal impliciete randvoorwaarden en uitgangspunten die de toepasbaarheid van de methode beïnvloeden. Bij iedere analyse dient een moment van bezinning te zijn in hoeverre deze zaken een bedreiging vormen voor de nauwkeurigheid van het model, door afwijkingen van de gemodelleerde werkelijkheid ten opzichte van de praktijk. In deze paragraaf worden een aantal van deze randvoorwaarden en uitgangspunten expliciet gemaakt ten behoeve van het proces van bezinning.



#### 1.4.1 *Ontwerpsterkte*

De constructieve sterkte van het object is te allen tijden conform het ontwerp. Eerder niet opgemerkte aanvaringen kunnen echter potentieel een verzwakking van het object betekenen, maar worden binnen deze methode niet in ogenschouw genomen. Ook achterstanden in onderhoud kunnen leiden tot (lokale) verzwakkingen van het object(deel).

Voor ieder object en voor ieder constructiedeel moet voordat de methode ingezet kan worden bepaald worden of dit een beperking oplevert. Is er sprake van achterstallig onderhoud? Hoe aannemelijk is de kans dat tussen twee inspecties twee opeenvolgende aanvaringen plaatsvinden, waarvan de eerste een onopgemerkte verzwakking heeft opgeleverd?

#### 1.4.2 *Vlootverdeling*

De methode maakt gebruik van een (toekomstvaste) vlootverdeling, met daarin aantallen schepen per scheepsklasse van een bepaalde afmeting, maximale massa en (maximale) snelheid.

Dit betekent echter niet dat alle vormen van potentieel bijzonder transport in de vlootverdeling moeten worden opgenomen. Aan bijzonder transport is normaliter een traject van vergunningsverlening betrokken, waarbinnen beschouwd moet worden of het (toegenomen) risico van het bijzondere transport acceptabel is voor de objecten die het passeert. Dit dient echter wel getoetst te worden voordat deze aannahme bij de toepassing van de methode wordt toegepast. Bijzondere transporten hoeven na vergunningverlening niet expliciet in de methode meegenomen te worden – de resulterende analyse dient wel in het traject van vergunningverlening gebruikt te worden om de ruimte te bepalen in termen van potentiële aanvullende niet-beschikbaarheid door het bijzondere transport.

#### 1.4.3 *Risico op een directe aanvaring*

De methode aanvaarrisico beschouwt alleen het directe aanvaarrisico van objecten en constructiedelen. Daar waar toepasselijk zullen ook andere scheepsongevallen zoals bedoeld bij het externe risico's 'vaarwegincident' onder de ProBO paraplu beschouwd moeten worden, waaronder:

- Brand / ontploffing van (kegel) schepen;
- Krabbende / gevallen ankers;
- Schade door meeslepende trossen / kabels;
- Schade door (verkeerd gebruik van) boegschroeven;
- Oppervlaktewater vervuiling, al dan niet als gevolg van een (onderlinge) aanvaring;
- Afgevalen lading, al dan niet als gevolg van een (onderlinge) aanvaring;
- Gezonken schepen, al dan niet als gevolg van een (onderlinge) aanvaring.

#### 1.4.4 *Conservatismen in de modelvorming*

Daar waar noodzakelijk of opportuun is de methode en de toepassing daarvan conservatief ingestoken. Hiermee wordt een evenwicht gezocht tussen de toepasbaarheid van de methode en de gevolgen van de conservatieve keuzes op het niet-beschikbaarheidsbudget. Daar waar de methode een te conservatief resultaat oplevert, en daarmee teveel van het niet-beschikbaarheidsbudget inneemt, kan deze verder gespecificeerd worden door de inzet van experts.

Conservatismen die daarbij aangepakt kunnen worden zijn onder andere:

- De keuzemogelijkheden bij de vaststelling van Paanvaar kunnen tot meer of minder conservatisme leiden.
- De methode gaat in de meest simpele vorm uit van een puntdruk bij een aanvaring, terwijl bijvoorbeeld duwbakken de aanvaarenergie verdelen over een groter oppervlak en daarmee veel minder schade opleveren.
- De methode gaat er ook vanuit dat de schepen niet elastisch vervormen. Met andere woorden, de kreukelzone van de schepen, die leiden tot een kleiner schadeniveau bij de constructies, wordt in eerste instantie niet meegenomen.
- De massa wordt per scheepsklasse maatgevend, oftewel maximaal, verondersteld. Terwijl niet alle schepen binnen de scheepsklasse maximaal beladen zullen zijn, en daarmee ook niet alle aanvaringen met maximale massa zullen gebeuren. Het gebruik van een massaverdeling kan hier uitkomst in bieden.
- De snelheid van een schip binnen een scheepsklasse en binnen een zone kan variëren. Er wordt echter gerekend met een maatgevende (gemiddelde) snelheid voor de gehele zone en de gehele scheepsklasse. Het gebruik van een snelheidsverdeling kan hier uitkomst in bieden.
- De kans op aanvaring wordt evenredig verdeeld over de gehele vloot verondersteld. Dit terwijl de grootste schepen wellicht de meest ervaren schippers hebben, wat een kleinere aanvaarkans voor het hoog-energetische segment zou impliceren.
- Het zwakste punt van een constructiedeel wordt maatgevend voor het gehele constructiedeel verondersteld, terwijl aanvaring niet altijd op de zwakste schakel hoeft plaats te vinden.

## 1.5 Producten van de analyse aanvaarrisico, uitgevoerd conform de methode

Producten die minimaal te verwachten zijn na de uitvoering van de analyse aanvaarrisico zijn:

- Kans op aanvaring;
  - Onderbouwd door gebeurtenissenbomen / foutenbomen / statistiek / expert judgement;
  - Onderbouwd door vastlegging van de brongegevens.
- Verdelingskromme aanvaarenergie;
  - Onderbouwd door scheepsaantallen, scheepsmassa's en scheepssnelheden.
- Kans dat gegeven een aanvaring dit een kritische aanvaring betreft;
  - Onderbouwd door de verdelingskromme aanvaarenergie en de constructieve sterkte van het objectdeel.
- Niet beschikbaarheid van het object als gevolg van een aanvaring;
  - Mede onderbouwd door de reparatieduur van het objectdeel.
- Randvoorwaarden die geïmplementeerd moeten zijn voor de analyse om geldend te zijn.

## 2 Initiatiefase

Voordat begonnen kan worden met de daadwerkelijke analyse van het aanvaarrisico dient de scope van de analyse bepaald te worden. Deze stap is wellicht vanzelfsprekend voor zowel doorgewinterde analisten als projectmanagers. Echter, voor de volledigheid wordt dit hoofdstuk aan deze fase gewijd.



### 2.1 Aanpak scopebepaling

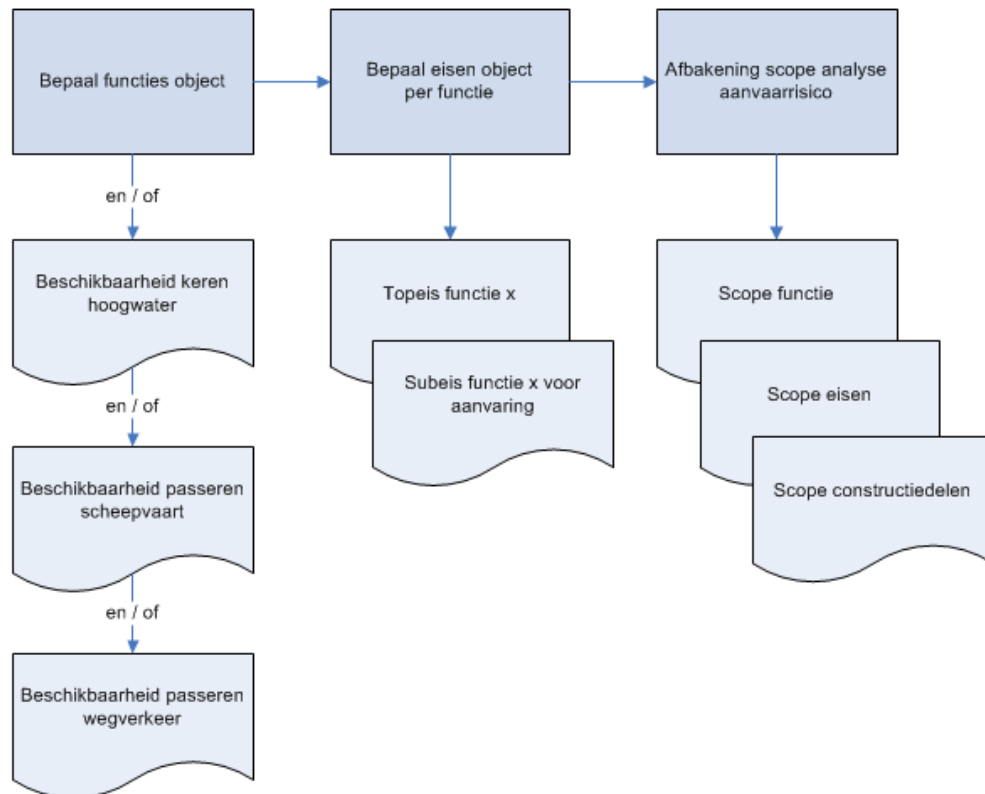
Voor de scopebepaling van de analyse aanvaarrisico dient minimaal antwoord gegeven te worden op de volgende vragen:

- Wat is de functie van het object?
 

Objecten die aangevaren kunnen worden zijn meestal onderdeel van het hoofdwegennetwerk en kruisen het hoofdwaternetwerk of hoofdvaarwegennetwerk. Voor het aanvaarrisico zijn dan ook de volgende functies van belang:

  - Laten passeren wegverkeer;
  - Laten passeren scheepvaartverkeer;
  - Keren (hoog)water.
- Welke eisen zijn er aan de beschikbaarheid en/of betrouwbaarheid van het object gesteld?
  - Wat is de topeis aan het object?
  - Is er noodzaak om een subeis aan de niet-beschikbaarheid door aanvaring te stellen? Zo ja, welke subeis aan het object is er?
  - Is er sprake van een kwantitatieve eis aan de beschikbaarheid voor hoogwaterkeren, al dan niet afgeleid vanuit de eisen in de Waterwet?
  - En / of is er sprake van een kwantitatieve eis aan de beschikbaarheid voor het laten passeren van scheepvaart?
  - En / of is er sprake van een kwantitatieve eis aan de beschikbaarheid voor het laten passeren van kruisend wegverkeer?
- Wat is de scope van de analyse?
  - Waar ligt de objectgrens?
  - Welke constructiedelen van het object dienen beschouwd te worden middels de analyse aanvaarrisico?
  - Welke functies van het object dienen beschouwd te worden middels de analyse aanvaarrisico?
  - Welke eisen aan (de constructiedelen van) het object moeten in de analyse gehandhaafd worden?

De scopestelling van de analyse die hiermee bedoeld wordt is ook opgenomen in het stroomschema analyse aanvaarrisico, zoals opgenomen in bijlage A. Het betreffende fragment uit het stroomschema is ook opgenomen in figuur 2-1.



**Figuur 2-1 Fragment van stroomschema methode aanvaarrisico**

## 2.2 Overwegingen bij de vaststelling van de scope

Specifiek kunnen de volgende overwegingen zowel analist als beheerder helpen bij het beantwoorden van bovenstaande scopevragen.

### 2.2.1 *Tijdshorizon analyse*

Een analist kan kiezen om een analyse te maken gebruikmakend van de huidige vlootgegevens, en bij ieder moment in de toekomst waarop de analyse heroverwogen dient te worden te beschouwen of de dan actuele vlootgegevens nog matchen met het uitgangspunt in de analyse. Deze optie zal veelal gekozen worden bij bestaande objecten.

Er kan ook gekozen worden voor een toekomstvast analyse, waarbij de verwachting aan scheepspassages voor de komende periode meegenomen wordt in de huidige analyse. Deze keuze zal vaak voorkomen bij objecten in aanbouw, waarbij een robuust en toekomstvast ontwerp nagestreefd wordt.

### 2.2.2 *Ontwerpvrijheid*

De methode streeft, evenals de ProBO methodiek, naar een maximale ontwerpvrijheid bij zowel de opdrachtnemer in de bouwphase als bij de beheerder in de onderhoudsfase. Hiermee kan, gegeven een geëiste beschikbaarheid van de (diverse) functies van het object een kostenoptimale oplossing gecreëerd worden.

Bij de toepassing van de methode kunnen hier echter afwijkende keuzes in gemaakt worden, zo kunnen bijvoorbeeld specifieke ontwerptechnische maatregelen uitgesloten worden van de analyse. Als voorbeeld het niet accepteren van een zogenoemde 'vang'-constructie.

### 2.2.3

#### *Beweegbare versus vaste delen van het object*

De methode aanvaarrisico is specifiek bedoeld voor beweegbare objecten. Echter, beweegbare objecten hebben ook starre delen, zoals vaste brugpijlers, sluishoofden, kolkwanden, heftorens enzovoorts enzoverder. De methode aanvaarrisico is expliciet uitsluitend bedoeld voor de analyse van de beweegbare constructiedelen van beweegbare objecten. Voor starre objecten en starre constructiedelen van beweegbare objecten voldoet het opvolgen van de ROK [2].

### 3 Basisparameters aanvaarrisico – kans op aanvaring

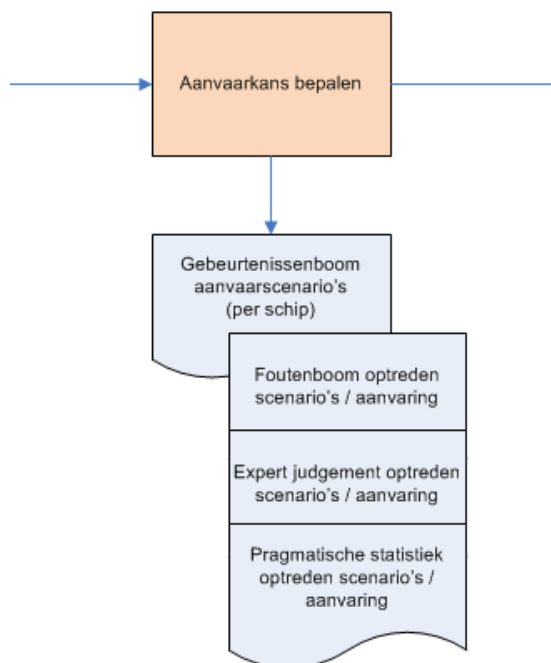
Aan de basis van de analyse aanvaarrisico staan een aantal parameters die ingevuld moeten worden specifiek voor de locatie waar de analyse voor gemaakt wordt. Dit gebeurt in de informatievergaringfase de methode aanvaarrisico. In dit hoofdstuk wordt specifiek de basisparameter: kans op aanvaring per schip behandeld.



#### 3.1 Aanpak voor het bepalen van de kans op aanvaring

Naast aanvaring als direct gevolg van technisch falen van ofwel het object ofwel het schip is een aanvaring van een beweegbaar object in een Nederlandse vaarweg vaak een samenspel van verschillende gebeurtenissen op zich. De exacte samenloop van gebeurtenissen vormen scenario's, welke gevoed worden door onder andere het type object en het lokale gedrag / de gevolgde procedure door de schipper die deze uitlokt. Deze scenario's worden gemodelleerd door middel van een gebeurtenissenboom.

De kans op het optreden van de verschillende scenario's kan op verschillende wijzen onderbouwd worden, afhankelijk van het type object, al dan niet samengevoegd met behulp van het systematisch beschrijven van aanvaarscenario's middels een gebeurtenissenboom. Dit is ook zodanig gevisualiseerd in het stroomschema aanvaarrisico in bijlage A, waarvan het relevante fragment te zien is in figuur 3-1.



**Figuur 3-1 Fragment van stroomschema methode aanvaarrisico**

### 3.1.1

#### *Vershil in objecttypen – kering, keersluis, stuw, sluis, beweegbare brug*

Vershil in procedures en gedrag is het gevolg van de karakteristieken van de verschillende objecttypen. Keringen en keersluizen zijn 'open, tenzij...', waarbij de schipper niet noodzakelijkerwijs rekening houdt met een stremming van de vaarweg en daarmee afhankelijk is van bijtijds geslaagde informatievoorziening. Stuwen daarentegen zijn 'dicht, tenzij...', waarbij de schipper reeds rekening houdt met het gebruik van een naastgelegen sluis, maar bij het gebrek aan een geslaagde informatieoverdracht naar de schipper mogelijk geen rekening houdt met de veranderde stromingen van de rivier bij een gestreken stuw. Schutsluizen en beweegbare bruggen daarentegen zijn altijd 'gesloten, totdat...' de schipper contact heeft gehad met sluismeester of brugwachter, hetgeen wederom ander gedrag van de schipper vereist.

## 3.2

### **Opbouw combinatie van faalwijzen tot kans op aanvaring - gebeurtenissenboom**

Om de diverse faalwijzen te combineren tot een enkele kans op aanvaring per schip moeten deze logisch gecombineerd worden. Een gebeurtenissenboom geeft methodisch invulling aan deze behoefte door systematisch en volgordeijk de verschillende faalwijzen / gebeurtenissen te combineren tot scenario's met als uitkomst een succesvolle doorvaart of een aanvaring, en de snelheid waarop de aanvaring plaatsvindt.

De verschillende momenten in tijd, oftewel de faalwijzen / gebeurtenissen die op de knooppunten in de gebeurtenissenboom leiden tot de kans dat een succes- dan wel een faalpad gevolgd wordt kunnen onderbouwd worden met een drietal kwantificeringstechnieken:

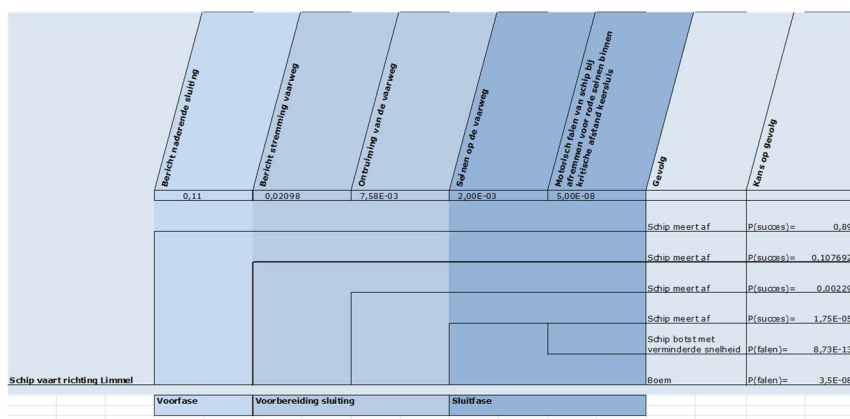
- Foutenbomen
- Expert Judgement
- Statistiek

Om een goede gebeurtenissenboom op te stellen is input nodig van maritieme experts (gedrag schippers en faalwijzen schepen), lokale experts (kennis locatie en lokale procedures) en RAMS-specialisten (structurering risicoanalyse en vertaling naar het kwantitatieve vlak). Er moet door deze expertgroep bepaald worden welke aanvaarsituaties op kunnen treden bij het object, gegeven de vloot, het vaarwegontwerp, het vaargedrag en bijzonderheden zoals signalering, sleepboten, marifonen, procedures enzovoorts enzoverder. In bijlage B en C zijn voorbeelden van (generieke) gebeurtenissenbomen opgenomen voor schutsluizen en beweegbare bruggen, gebaseerd op onderzoek door TNO [3]. Deze bieden een uitgangspunt bij nieuwe risicoanalyses van soortgelijke objecten.

Een voorbeeld van een gebeurtenissenboom is te vinden in de analyse aanvaarrisico Limmel [7], in deze gebeurtenissenboom is zichtbaar dat gebeurtenissen op verschillende momenten in tijd al dan niet leiden tot het afmeren van een schip, zie figuur 3-2. Stappen uit de procedure voor het sluiten van de keersluis Limmel zijn herkenbaar in de gebeurtenissenboom, en leiden al dan niet tot het besluit van de schipper zijn schip af te meren. Het niet tijdig afmeren van een schip leidt uiteindelijk tot het aanvaren van de keersluis, met gereduceerde of volle snelheid afhankelijk van het inzetten van het remmend vermogen van het schip als de gesloten keersluis in zicht komt.

Zichtbaar zijn:

- De voorwaarschuwing naderende sluiting die 24 uur voor de verwachte sluiting door Rijkswaterstaat aan de scheepvaart verzonden wordt.
- Het bericht dat het Julianakanaal ter hoogte van de keersluis Limmel gestremd is, 6 uur voor de daadwerkelijke sluiting van de keersluis.
- De ontruiming van de vaarweg door een patrouilleboot, eventueel ondersteund door een patrouillewagen, vanaf 6 uur voor sluiting totdat de keersluis daadwerkelijk gaat sluiten.
- De seinen op de vaarweg die aangeven dat de vaarweg gesperd is op het moment dat de keersluis gaat sluiten.
- De herstelmogelijkheid van de schipper die op het allerlaatste moment nog een noodstop wil maken na het zien van de seinen, maar hierin belemmerd wordt door een technisch falend schip.



Figuur 3-2 Gebeurtenissenboom aanvaarrisico Limmel



### 3.3 Invulling van de kans op aanvaring

Zoals in de voorgaande paragraaf benoemd is kwantificering van de gebeurtenissen in de gebeurtenissenboom, en daarmee de kansbepaling van het optreden van specifieke scenario's, mogelijk door (een combinatie van) een drietal technieken, welke hier verder beschreven zullen worden.

#### 3.3.1 *Foutenbomen*

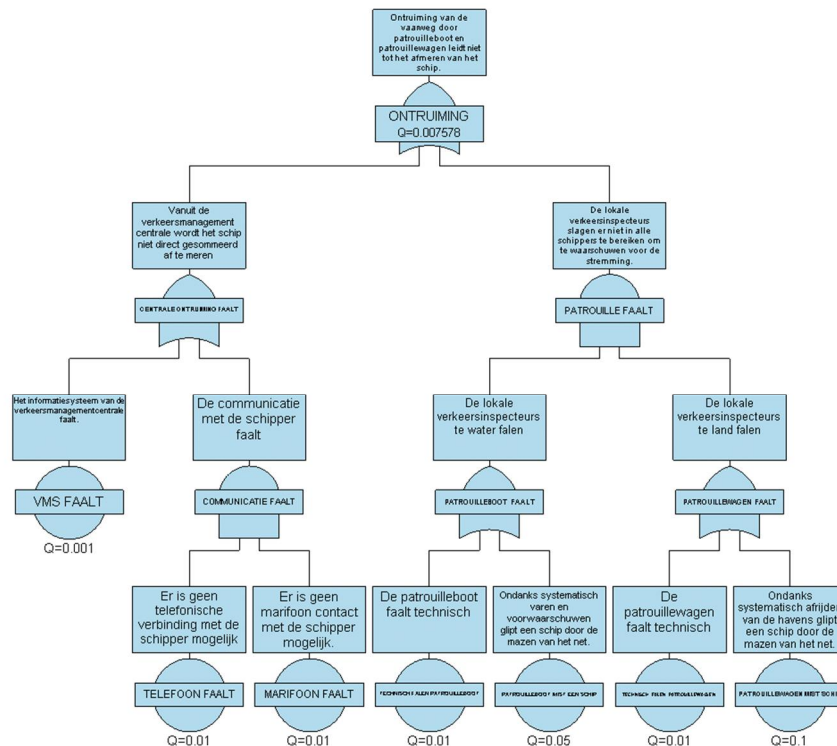
De foutenboom is de meest uitgebreide methode. Tegelijkertijd is dit ook de nauwkeurigste methode en daarmee ook de voorkeursoptie voor de methode aanvaarrisico.

Om een goede foutenboom op te stellen is wederom input nodig van maritieme experts, faalkansspecialisten en lokale deskundigen. Voor iedere gebeurtenis (moment van tijd) uit de gebeurtenissenboom kan een foutenboom opgesteld worden met de faalwijzen die bijdragen aan het faalpad in de boom. Zo kan men denken aan:

- Technisch falen van benodigde componenten voor het succespad
- Menselijk falen van zowel bedienaarszijde als schipperszijde, leidend tot het niet volgen van het succespad
- Falen van communicatie met schipper, waardoor deze niet bekend is met het potentiële falen.

Nota bene, enkelvoudige faalwijzen vormen methodisch gezien een enkele event in de foutenboom, waarbij de top van de foutenboom de faalgetallen volledig overneemt. Hierdoor kan de stap van het maken van de foutenboom dus overgeslagen worden.

Een voorbeeld van een foutenboom is te zien in figuur 3-3. deze is uitgewerkt voor de gebeurtenis 'ontruiming vaarweg faalt' uit de gebeurtenissenboom aanvaring Limmel [7].



**Figuur 3-3 Foutenboom ontruiming vaarweg faalt uit aanvaarrisico Limmel**

Herkenbaar is dat er in de foutenboom een tweetal verschillende faalwijzen zijn:

- *Technisch falen*
  - *Schip faalt*
  - *Communicatiemiddelen falen*
- *Menselijk falen*
  - *Beheerder faalt*
  - *Schipper faalt*

### 3.3.2 Expert Judgement

Men kan de kansinschattingen van gehele aanvaarscenario's, maar ook van gebeurtenissen in een gebeurtenissenboom leidend tot een of meerdere scenario's, baseren op het oordeel van één of meerdere (lokale) deskundigen. Het gehele traject van de gebeurtenissenboom en / of het deeltraject van de foutenboom wordt daarmee in meer of mindere mate door de experts impliciet doorlopen.

Expert judgement heeft een tweetal nadelen:

- Er zijn in Nederland niet veel deskundigen die het bevragen van experts in goede (lees betrouwbare) banen kunnen leiden.
- Er zijn in Nederland niet veel partijen met voldoende expertise om deze expert judgement te kunnen leveren.
- Het resultaat zal vaak aan de zeer conservatieve kant zijn, door de experts bewust zodanig ingestoken, om onzekerheid in de schattingen op te vangen.

### 3.3.3

#### Statistiek

Vanuit vergelijkbare objecten, of vanuit het object zelf kan op basis van (beperkte) faalgetallen uit het verleden een schatting gemaakt worden van een kans op aanvaring of het optreden van een faalpad binnen de gebeurtenissenboom aanvaarrisico, of voor een geheel aanvaarscenario. Afhankelijk van de dataset waarop deze kansen gebaseerd zijn is deze informatie meer of minder betrouwbaar.

*Een voorbeeld vinden we bij de analyse aanvaarrisico van de nieuwe zeetoegang IJmuiden [8]. De huidige noordersluis functioneert inmiddels 80 jaar zonder functioneel falen als gevolg van een aanvaring. De kans op een kritische aanvaring kan daarbij pragmatisch gesteld worden op eens in de 80 jaar.*

*Daarnaast is bij vijfjaarlijkse inspecties aan de sluisdeuren van de huidige Noordersluis gebleken dat gemiddeld zes aanvaringen zonder functieverlies optreden in de tussenliggende periode. De kans op aanvaring is daarbij 1,2 keer per jaar.*

## 3.4 Overwegingen bij het invullen van de kans op aanvaring

### 3.4.1 Aantoonbaarheid gebruikte data

Ongeacht welk faaltype op welke manier is gekwantificeerd moet de herkomst van de (kans)data altijd vastgelegd te zijn. De traceerbaarheid van de data toont aan in hoeverre de analyse met voldoende aandacht en nauwkeurigheid is uitgevoerd, en op welke punten nog winst te behalen valt.

### 3.4.2 Voor ieder constructiedeel en vaarwegdeel apart

De kans op aanvaring is (mogelijk) verschillend voor de diverse beweegbare constructiedelen die beschouwd worden. Ook is de kans op aanvaring niet generiek voor alle locaties in alle vaarwegen in Nederland. Per object(deel) en per locatie draagt het scheepsaanbod, het vaargedrag en het vaarwegontwerp bij aan de specifieke kans op aanvaring, hierdoor moet deze parameter voor ieder constructiedeel apart bepaald worden.

## 4 Basisparameters aanvaarrisico – verdelingskromme aanvaarenergie

Gegeven een aanvaring zal zowel een constructie als het schip schade oplopen. Ieder schip heeft een maximaal mogelijke reactiekracht – een kreukelzone, die de eerste impact van een aanvaring kan absorberen. Of een aanvaring voor de constructie een kritische aanvaring is hangt af van de energie waarmee het schip tegen de constructie is aangevaren in combinatie met de reactiekracht van het schip. Is het resultaat van de aanvaarenergie en de energie die in de kreukelzone van het schip geabsorbeerd wordt groter dan de energie die de constructie had kunnen opnemen dan is er sprake van een kritische aanvaring – de constructie is dan zodanig beschadigd dat deze zijn functie niet meer kan uitvoeren.

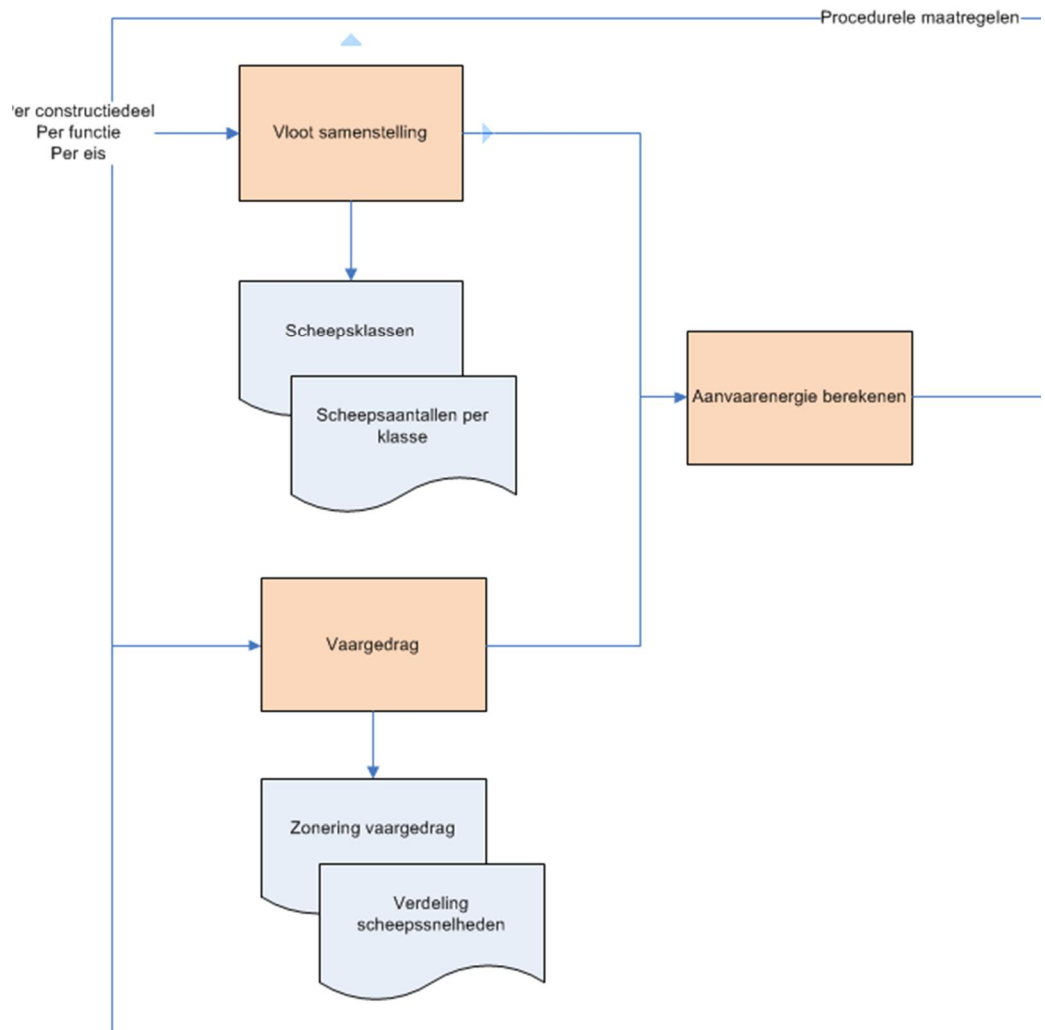


Omwille van het eenvoud van de methode wordt vanaf dit punt gerekend aan aanvaarenergie zonder de vervormingscapaciteit van het schip te beschouwen. Dit is een conservatief uitgangspunt, die bij tegenvallende analyseresultaten met (scheeps)bouwkundige experts voor specifieke scheepsklassen en specifieke constructies verfijnd kan worden door deze energie-afname op te nemen bij de ontwerpberekeningen in de analysefase van deze methode aanvaarrisico.

Overigens, waar in dit document gesproken wordt over aanvaarenergie is het technisch juist om te spreken van de scheepsenergie in de vaarrichting die een schip bij aanvaring heeft. Omwille van de leesbaarheid wordt echter de term aanvaarenergie toegepast.

### 4.1 Aanpak van de opbouw van de verdelingskromme aanvaarenergie

Om tot een verdelingskromme aanvaarenergie te komen zijn allereerst een aantal brongegevens nodig, zoals geïllustreerd in het fragment uit het stroomschema aanvaarrisico (bijlage A) in figuur 4-1.



**Figuur 4-1** Fragment stroomschema methode aanvaarrisico

## 4.2 Invulling van de verdelingskromme aanvaarenergie

Om voor de gehele vloot de (verdeling van) aanvaarenergie te bepalen moet de vlootverdeling, de bijbehorende massa's en de bijbehorende snelheden bepaald worden. De vlootverdeling en de bijbehorende massa's vallen in deze methode onder de noemer scheepskarakteristieken. De snelheden zijn afhankelijk van het vaargedrag, en worden onder die noemer besproken.

### 4.2.1 Scheepskarakteristieken

De complete vloot die het object passeert dient beschouwd te worden. Typisch laat de vloot zich onderverdelen in scheepvaartklassen, zoals de diverse CEMT-klassen, tankers, cruiseschepen, containerschepen, bulk carriers enzovoorts. De scheepsafmetingen, scheepsvormen en scheepsmassa's zijn variabel, ook binnen één enkele scheepvaartklasse. Er wordt in de methodiek gerekend met de conservatieve uitersten voor de scheepvaartklassen die hierin redelijkerwijs te verwachten zijn. Per scheepsklassen zijn de maximale scheepsafmetingen, de maximale massa en het totale aantal nodig voor de berekeningen.

De (maximale) afmetingen van het schip zijn niet direct nodig voor het berekenen van de aanvaarenergie, maar kunnen in het ontwerpstadium wel nuttig zijn bij het bepalen van de (maximale) aanvaarhoek en de vereiste elasticiteit, bestandheid tegen wrijving, etcetera, van delen van de constructie.

De massa van een schip is een belangrijke parameter bij de bepaling van de aanvaarenergie. Uiteraard verschilt deze massa sterk per scheepstype en natuurlijk ook per beladingstoestand (leeg of geladen). Binnen een scheepsklasse komen in de praktijk uiteenlopende massa's voor. In principe is het mogelijk dit middels een verdelingsfunctie in te brengen in de risicoanalyse, maar voor deze mogelijkheid wordt een conservatieve benadering ook ruimschoots voldoende geacht. Hiertoe worden in de berekening alle schepen als maximaal beladen beschouwd.

Naast de afmetingen van het schip is ook de vorm van het schip van invloed op de schade die (potentieel) ontstaat bij een aanvaring. Een schip met een bulb verschilt qua puntdruk op een sluisdeur van een vierkante duwbak. De formule die in deze methode voorgesteld wordt gaat uit van de maximale druk, een puntdruk. Echter, op een traject waar alleen met duwbakken gevaren wordt is dit een conservatieve aanname, aangezien duwbakken de aanvaarenergie verdelen over een groter oppervlak.

#### 4.2.2

##### *Vaarsnelheden en zonering*

Objecten die in een vaargeul staan leiden tot een aanpassing van het gedrag van de schepen die daar varen. In het bijzonder geldt dit voor beweegbare objecten, zoals keringen, stuwen, sluizen en beweegbare bruggen – voor deze objecten wordt over het algemeen niet alleen gemanoeuvreed maar ook (potentieel) snelheid teruggenomen. Dit levert een divers snelheidsbeeld en daarmee een variatie in de potentiële aanvaarenergie op de deelobjecten binnen ons systeem.

Er worden generiek vier typen beweegbare objecten onderscheiden:

- Schutsluizen – objecten waarvoor een schip sowieso moet manoeuvreren en afremmen om te passeren.
- Keringen en keersluizen – objecten die in normaal bedrijf geen belemmering voor de vrije doorvaart vormen, maar die mogelijk de vaarweg afsluiten naar aanleiding van omstandigheden (hoogwater, testen, vervuiling enzovoorts).
- Beweegbare bruggen – objecten die (een deel van) de scheepvaart in gesloten situatie belemmert en in geopende situatie, mogelijk na manoeuvreren, een vrije vaarweg oplevert.
- Stuwen – objecten die in normaal bedrijf gesloten zijn, maar bij bijzondere omstandigheden gestreken worden waardoor de lokale waterstromingen anders dan verwacht kunnen zijn (hoogwater).

In bijlage D wordt voor ieder van deze vier objecttypen, in generieke zin, een zonering uitgewerkt.

*In het voorbeeld Noordersluis IJmond wordt gewerkt met de volgende zonering.*



**Figuur 4-2 Zonering Noordersluis IJmond**

*Hierbij bestrijkt zone 0 de voorhaven aan het buitenhoofd van de Noordersluis, strekkend tot aan de tip van het eerste remmingwerk. In deze zone is de snelheid van het schip reeds afgeremd naar de manoeuvreersnelheid waarmee deze tot aan de sluis opvaart.*

*Zone 1.1 loopt vanaf de tip van het eerste remmingwerk tot een halve (maatgevende) scheepslengte de kolk in – het moment dat een schip zal beginnen af te remmen.*

*Zone 1.2 loopt vanaf het eind zone 1.1 tot aan de stopstreep in de sluiskolk, en vormt de remweg van het schip.*

*Zone 1.3 is de ruimte tussen de stopstreep en de sluisdeuren, als het ware de correctieruimte die een schip heeft.*

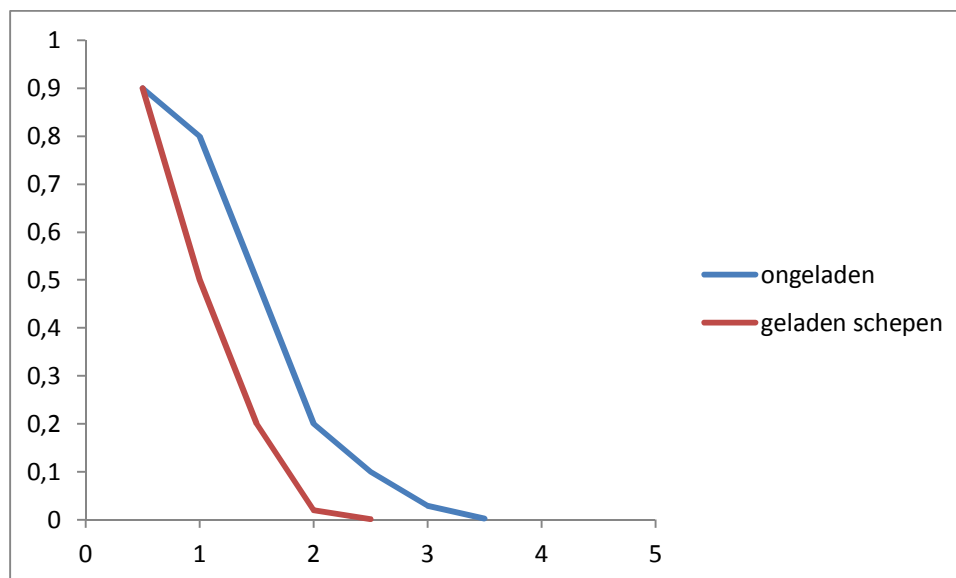
*Zone 2 loopt vanaf de tweede set sluisdeuren en beslaat het gebied waarin het schip weer snelheid maakt.*

Voor ieder object kan een locatie specifieke zonering gemaakt worden, waarbij voor iedere zone een snelheidsbeeld in de analyse meegenomen kan worden. Vervolgens kan gekeken worden in welke zone het bekeken faalgedrag ligt dat leidt tot de aanvaring, om hieraan vervolgens de vaarsnelheid tijdens aanvaring te koppelen.

Voor de Noordersluis IJmond zijn de volgende maatgevende snelheden in de diverse zones gehanteerd:

Zone	Snelheid
Zone 0	1,3 m/s
Zone 1.1	0,65 m/s
Zone 1.2	0,4 m/s
Zone 1.3	0,1 m/s
Zone 2	0,5 m/s

Nota bene, daar waar gesproken wordt over de vaarsnelheid wordt gesproken over de maatgevende snelheid voor de zone. Echter, in de maatgevende snelheid zitten niet de extremen verwerkt. Om dit te ondervangen kan gewerkt worden met een verdeling van snelheden, zoals geïllustreerd in figuur 4-3, waarin de cumulatieve snelheidsverdeling is aangegeven voor een tweede sluisdeur van een binnenvaartsluis (snelheid in m/s op de x-as, kans van optreden op de y-as). Zo is de kans dat een schip (zowel geladen als ongeladen) 0,5 m/s vaart 90% en dat een ongeladen schip 2 m/s vaart 90% en dat een ongeladen schip 2 m/s vaart is 0,2.



**Figuur 4-3** Aanvaarvaarsnelheid tweede sluisdeur

#### 4.2.3 Verdelingskromme aanvaringsenergie



Met de scheepsklassen, (verdeling van) scheepsmassa's en (verdeling van) snelheden kunnen we per constructiedeel berekenen wat de energieverdeling van de potentiële aanvaringen is. Hierbij wordt voor alle mogelijke scheepscategorieën, met eventueel hun verdeling aan massa's en snelheden, de aanvaarenergie berekend met onderstaande formule.

$$E = 0,55m \times v^2$$

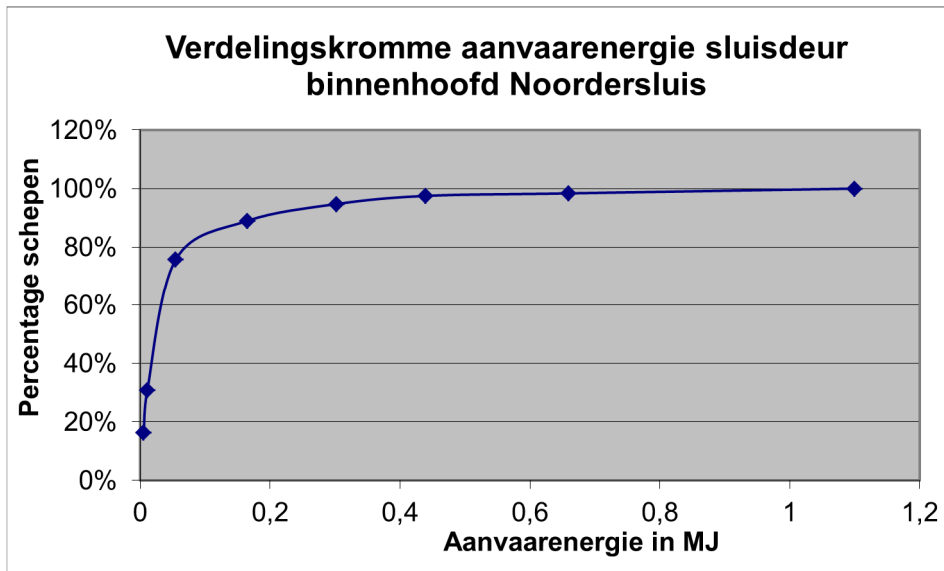
Waarbij:

$E$	de aanvaarenergie [J] of [MJ]
0,55	0,5 plus een factor voor de meebewegende watermassa
$m$	de massa of massaverdeling van het schip in [kg]
$v$	de snelheid of snelheidsverdeling van het schip in [m/s]

Dit levert de aanvaarenergie in Joule [J], of praktischer, in MegaJoule [MJ], per scheepsklasse per constructiedeel. De verdeling van de aanvaarenergie over de scheepsklassen heen kan visueel gepresenteerd worden als een verdelingskromme per constructiedeel. Hierin kan op de x-as de aanvaarenergie per klasse afgelezen worden, en op de y-as het aantal schepen of het percentage schepen dat deze aanvaarenergie of minder zou opleveren.

Met andere woorden, met behulp van deze verdelingskromme kan voor iedere willekeurige aanvaarenergie ingeschat worden welk percentage van schepen dat energieniveau overschrijdt in geval van een aanvaring. In combinatie met de (ontwerp)sterkte van het objectonderdeel kan dan het gevolg van de aanvaring worden bepaald.

Gegeven de scheepskarakteristieken, aantallen en de vaarsnelheid van 0,1 m/s in zone 1.3 kan voor de tweede sluisdeur (in vaarrichting) van de Noordersluis IJmond de volgende verdelingskromme getekend worden.



**Figuur4-4** Verdelingskromme sluisdeur binnenhoofd Noordersluis IJmond

## 5 Aanvaarrisico Analysefase

Bij een aanvaring zijn verschillende gradaties van schade te onderscheiden. Bij een geringe aanvaarenergie zal alleen een plaatselijk beschadiging optreden die geen directe gevolgen heeft voor de schut- en keerfunctie. Een grotere hoeveelheid energie kan zorgen voor beschadigingen die van dien aard zijn dat bijvoorbeeld een deur niet meer goed open of dicht kan.



De deur zal dan gerepareerd of vervangen moeten worden om aan de schuteis te voldoen. Mogelijk is dan ook de keerfunctie in het geding, alhoewel daar meestal een nog grotere beschadiging voor nodig zal zijn. Bij een frontale aanvaring van een deur zal vaak lokale schade optreden in de vorm van plastische deformatie en/of scheuren, omdat de boeg van een groot schip stijver en sterker zal zijn dan de deurconstructie. Mogelijk kan een fenderconstructie hier enig soelaas bieden. In het algemeen zal de lokale schade geen gevolgen hebben voor het feitelijk functioneren, al zal (snelle) reparatie wel gewenst zijn.

Deze kleine schade wordt verder buiten beschouwing gelaten. Uiteraard moet wel worden bedacht dat deze kleine schades bij de aanvaarstatistiek mogelijk voor een deel wel wordt meegenomen. Naarmate de aanvaarenergie groter is wordt een groter deel van de deur vervormd en kan in aanvulling op de lokale schade een overall uitbuiging ontstaan. Boven een zekere uitwijking zal de deur niet meer kunnen functioneren. Het zal van het gehele systeem afhangen bij welke waarde dit gebeurt.

Tenslotte verliest op een gegeven moment de deur zijn waterkerend vermogen. Dit gebeurt bij een groot gat of een mogelijk totaal uit de sponningen varen van de deur.

Het bovenstaande illustreert dat afhankelijk van de energie van de aanvaring de schade aan het aangevaren object groter of kleiner zal zijn. Er worden twee eenduidige schadecategorieën voorgesteld:

- Een aanvaring met geen of lichte schade waarbij geen direct functieverlies optreedt
- Een aanvaring met schade, functieverlies en een hersteltijd als gevolg van vervanging of reparatie van het keer- of schutmiddel.

### *Relatie met de Eurocode*

De Eurocode ziet aanvaring als een 'bekende buitengewone belasting'. In de Nationale Bijlage (NB:2011) van de Eurocode 'Algemene belastingen – Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen' (NEN-EN 1991-1-7) wordt, in Artikel 3.2 het volgende gesteld [5]:

**NEN-EN 1991-1-7+C1:2011/NB:2011 art. 3.2****3.2 Buitengewone ontwerpsituaties – strategieën voor bekende buitengewone belastingen**

(1) Lees als uitwerking van opmerking 3 na de volledige tekst van (1) de volgende tekst:

(begin tekst)

Het algemene streefniveau van de aanvaardbare bezwijkkans bij buitengewone ontwerpsituaties is  $10^{-5}$  per jaar. Onderscheid op grond van de gevolgen van bezwijken wordt aanbevolen.

OPMERKING 3.2(1) NB.1 Voor meer informatie, zie bijlage B.

(einde tekst)

Het komt er op neer dat de Eurocode een maximale bezwijkkans bij aanvaringen van schepen van 0,00001 ( $10^{-5}$ ) per jaar toestaat.

Belangrijk is de tweede zin: 'Onderscheid op grond van de gevolgen van bezwijken wordt aanbevolen'. De Eurocode normeert streng, omdat dat het in de bouw relatief goedkoop is om schade en slachtoffers te beperken. Maar in het geval van scheepsaanvaring kan het erg duur zijn om een constructie te maken die tegen de grote scheepskrachten kan en is de kans dat er slachtoffers vallen erg klein. Dus is het zeer verstandig aan bepaalde constructiedelen veel lagere eisen te stellen.

Indien de geëiste faalkans, of beschikbaarheid, niet wordt bereikt, moet het ontwerp worden versterkt. Daarmee neemt het aantal schepen dat bezwijken kan veroorzaken af, waardoor de kans per jaar afneemt. Dit proces wordt herhaald tot aan de eis is voldaan.

Het is zelfs denkbaar dat niet van een vaststaande eis wordt uitgegaan, maar dat naar een economisch optimale situatie wordt gestreefd. De investeringskosten van een zwaarder ontwerp worden dan afgewogen tegen het rendement daarvan: minder schade en grotere beschikbaarheid. Uit dit proces volgt ten slotte een optimaal ontwerp, met een (te accepteren) aanvaarkans.

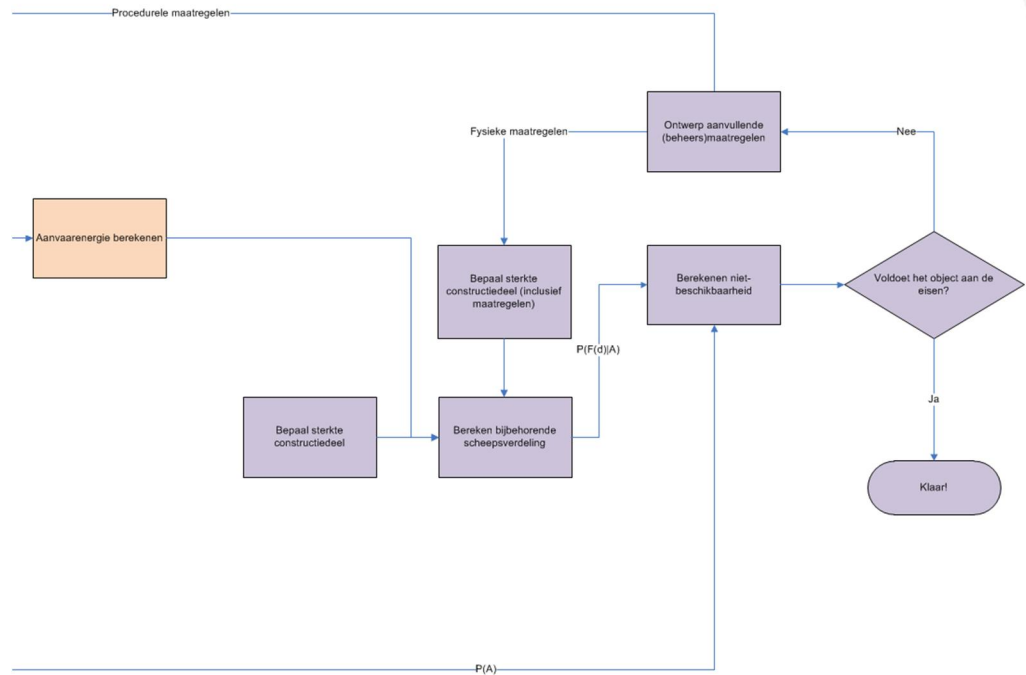
De specifieke eisen vanuit de Eurocode gelden echter alleen als er geen gerichte risicoanalyse aanwezig is. Het volgen van de hier beschreven methode aanvaarrisico levert een gerichte risicoanalyse op, waarmee de zeer zware specifieke eis voor aanvaarrisico uit de Eurocode terzijde gelegd kan worden. En hoewel de methode haar eigen conservatismen kent, zoals het niet plastisch vervormen van het schip, kan deze door een expert in de analysefase wel in de ontwerpberekeningen toegevoegd worden aan de resultaten van de methode.

## 5.1 Aanpak van de analysefase aanvaarrisico

Het aanvaarrisico dat een object loopt is langs drie sporen beïnvloedbaar:

- 1 De aanvaarkans kan beïnvloed worden door onder andere procedures, informatievoorziening aan de schippers, en andere zaken die het vaargedrag beïnvloeden zoals bebording en de lokale fysieke situatie. (zie Hoofdstuk 3)
- 2 De aanvaarkans kan beïnvloed worden door keuzes te maken in de scheepvaartsklassen en vaarsnelheden die op het traject worden toegestaan. (zie Hoofdstuk 4)
- 3 Het gevolg van een aanvaring wordt beïnvloedt door de sterkte van het ontwerp, met andere woorden, de aanvaarbestedigheid van de constructie zelf. (zie dit Hoofdstuk)

Middels deze drie sporen kan iteratief gezocht worden naar een situatie die voldoet aan de eisen zoals gesteld in de scope van de analyse, zoals weergegeven in figuur 5-1, wat een fragment is van het stroomschema aanvaarrisico in Bijlage A.



**Figuur 5-1** Fragment uit het stroomschema methode aanvaarrisico

## 5.2 Invulling analysefase aanvaarrisico

De niet-beschikbaarheid van een element in de vaarweg (zoals bijvoorbeeld een deur van een sluis) wordt gegeven door:

$$Q = \sum P(F_d|A)P_A\theta_d;$$

Waarbij:

- $P_A$  Kans op aanvaring zoals bepaald in hoofdstuk 3.
- $P(F_d|A)$  Kans op schadeniveau  $d$  gegeven een aanvaring
- $\Theta_d$  Reparatieduur bij schadeniveau  $d$

Om de totale niet-beschikbaarheid te berekenen dient de sommatie te lopen over alle mogelijke schadeniveaus en alle gedefinieerde objectonderdelen. Aangezien deze methode veronderstelt dat alle aanvaringen leiden tot het verlies van de functie, is er maar één schadeniveau. Het sommatie-teken dient hier dan ook opgevat te worden als herinnering dat alle relevante objectonderdelen meegenomen worden in de berekening van het aanvaarrisico.

Allereerst dient voor de initiële berekening het ontwerp doorgerekend te worden, waarbij berekend wordt welke aanvaarenergie het (ontwerp)object kan weerstaan zonder functioneel te falen. Het is in deze berekening dat de elasticiteit een rol speelt – een starre constructie zal wellicht eerder breken dan een die de energie van

de aanvaring omzet in een elastische vervorming. Daarnaast kunnen diverse vormen van aanvaarbeveiliging een positieve bijdrage leveren aan de aanvaarenergie die nodig is om het object functioneel te doen falen.

In deze berekeningen is het belangrijk dat deze wordt uitgevoerd voor diverse punten op de constructie. De stalen beschermhuid van een sluisdeur kan bijvoorbeeld meer energie verduren voordat zij functioneel faalt dan een nivelleerschuij in dezelfde deur. De vorm van het schip dat aanvaart is op voorhand niet te voorspellen, en daarmee ook niet de exacte locatie van de aanvaring. Daarom dienen de objectdelen doorgerekend te worden op de zwakste punten, en dienen deze punten als maatgevend beschouwd te worden.

### 5.3 Iteratieve karakter in de uitvoering van de analysefase aanvaarrisico

Met het berekenen van een eerste niet-beschikbaarheid hoeft het doorlopen van de methode nog niet afgerond te zijn – alleen als de resulterende niet-beschikbaarheid past in de wensen, eisen en budgetten van de beheerder kan deze waarde zonder iteratieslagen overgenomen worden.

In alle andere gevallen kan de methode aanvaarrisico in iteratieve slagen doorlopen worden waarbij gezocht wordt naar een (economisch) optimale keuze tussen niet-beschikbaarheid en investeringen om dit te bereiken. In deze iteratieslagen wordt onderzocht welke keuzes er zijn voor aanpassingen in de vaarwegregelgeving en / of procedures en in het fysieke ontwerp of de berekening daarvan.

Bij aanpassingen in de vaarwegregelgeving of procedures zullen de aanvaarkansen en / of de verdelingskromme aanvaarenergieën wijzigen door veranderde scenario's en veranderd vaargedrag.

Bij aanpassingen aan het fysieke ontwerp zal opnieuw berekend moeten worden wat de constructie aan aanvaarenergieën kan weerstaan. Daarnaast kan de energetische som verfijnd worden, door onder andere de kreukelzone van het schip mee te nemen. Ook de effecten van geringe vaarhoeken, door het veroorzaken van koerswijzigingen, en vertraging door wrijving, kunnen in deze berekening meegenomen kunnen worden.

### 5.4 Berekening krachten

De energiewaarden dienen nu gerelateerd te worden aan de krachten die het (onderdeel van het) object kan opnemen zonder functieverlies. Er zijn hier diverse formules en rekenprogramma's voor ontwikkeld.

### 5.5 Overwegingen bij de analysefase aanvaarrisico

#### 5.5.1 *Direct versus indirect functieverlies*

De methode aanvaarrisico focust zich op het risico van direct functieverlies van een object als gevolg van een aanvaring. Aanvaring kan echter ook leiden tot indirect functieverlies – de schade is weliswaar niet zo groot dat de functie verloren is, maar zal wel hersteld moeten worden op deze wijze tot niet-beschikbaarheid van de functie leiden.

De kans op een aanvaring met indirect functieverlies volgt uit de scenario's waarbij schepen met gereduceerde energie het object aanvaren. Vervolgens kan uit de aanvaarenergie berekening herleid worden hoeveel aanvaringen in het energiesegment vallen die niet een directe functionele bedreiging vormen, maar wel

een indirecte. Met deze gegevens kan vervolgens invulling gegeven worden aan het indirect functieverlies als gevolg van een aanvaring.

## 6 Aandachtspunten bij de toepassing van de methode

### 6.1 Inzet experts

Om Paanvaar voldoende nauwkeurig te bepalen zullen risicosessies gehouden moeten worden ter vervulling van de informatiebehoefte van de methode – of het nu de vulling van de foutenboom of de vulling van de scheepskarakteristieken en zonering betreft.

Nautische expertise is een vereiste. Dit kan voor een belangrijk deel in de vorm van database research, zoals onder andere de registraties bij Marin, IVS en de Koninklijke Schuttevaer. Maar voor de meer specialistische vraagstukken zoals de invulling van de gebeurtenissenboom en de simulatie van scheepsgedrag in bijzondere situaties zullen experts betrokken moeten worden. Hierin staan onder andere TNO en Marin bekend. In beide gevallen moeten de genoemde partijen opgevat worden als een suggestie, het betreft in geen van beide gevallen een complete uitputtende lijst.

Daarnaast is lokale kennis aan tafel absoluut noodzakelijk. Iedere situatie en iedere locatie is uiteindelijk in zeker opzicht uniek. Men kan hierbij denken aan onder andere sluismeesters, brugwachters, schippers, de Schuttevaer, onderhoudspersoneel, loodsen enzovoorts enzoverder.

Diverse aangrenzende expertgebieden kunnen ook een bijdrage leveren, denk bijvoorbeeld aan specialisten in staal, werktuigbouw, constructies, ontwerp enzovoorts. Bij de doorrekening van de aanvaarenergie naar de op te nemen krachten zijn constructeurs uiteraard essentieel.

Ervaring leert dat er minimaal twee sessies nodig zijn om alle informatie van de experts voldoende boven tafel te krijgen. In de eerste sessie kunnen de diverse scenario's gevormd worden, terwijl in de tweede sessie de uitwerking van de scenario's getoetst kan worden en de gebeurtenissen gekwantificeerd kunnen worden.

De sessies kunnen het beste gefaciliteerd worden door een persoon die ervaring heeft met faalkansanalyses in het algemeen en deze methodiek in het bijzonder.

### 6.2 Koppeling externe risico's

Aanvaarrisico is slechts een van de externe risico's op de ANSI lijst van externe risico's [6]. Binnen een risicoanalyse zullen normaliter in aparte deeltrajecten de verschillende ANSI-risico's bepaald worden. Het is echter zeer aannemelijk dat er kruisverbanden tussen de verschillende risico's zijn, bijvoorbeeld een toegenomen kans op aanvaring bij extreme wind of bijzondere waterstanden, en de opzettelijke aanvaring onder de noemer vandalisme bij het security risico. De ProBO methodiek in zijn geheel vereist een controleslag of uiteindelijk de gecombineerde kansen tussen het optreden van verschillende externe risico's voldoende belegd is.

### 6.3 Contractuele borging

Wanneer de topeis in termen van niet-beschikbaarheid voldoende geborgd is in het contract, waarbij ook nog eens de handleiding van de methode aanvaarrisico bindend wordt voorgeschreven is de verwachting dat opdrachtnemer gebonden is op het vlak van aanvaarrisico en een voldoende resultaat zal neerzetten.



Hierbij is het wel belangrijk dat Rijkswaterstaat in staat blijkt goede eisen af te geven voor wat betreft de beschikbaarheid van de functie van het object in zijn geheel, en eventueel de deelbeschikbaarheid voor de functionele bedreiging van het aanvaarrisico.

Daarnaast dient Rijkswaterstaat invulling te kunnen geven aan de vereiste inputgegevens, waaronder:

- Toekomstvast vlootgegevens
- Lokale procedures
- Lokale expertise gedrag schippers
- Generieke expertise aanvaarscenario's en aanvaarkansen

#### **6.4 Borging resultaten van de analyse aanvaarrisico**

Vanuit de analyse aanvaarrisico volgen een aantal randvoorwaarden die moeten gelden wil de analyse geldend zijn. Hierbij moet onder andere gedacht worden aan:

- procedures die in de analyse aangenomen worden moeten op minimaal die wijze ook daadwerkelijk uitgevoerd worden;
- beveiligingsconstructies die in de analyse opgenomen zijn dienen ook daadwerkelijk uitgevoerd te worden;
- de vloot die het object passeert dient niet zwaarder of sneller te zijn dan in de analyse aangenomen.

Met andere woorden, indien de uitgangspunten van de analyse in werkelijkheid significant afwijken van de modelaannames is de analyse niet langer valide en dient adequate actie te volgen.

## 7 Definities

Aanvaarbeveiliging	De beveiligingen tegen aanvaring die op een object aanwezig zijn. Dit kunnen zowel fysieke aanvaarbeveiligingen zijn, zoals remmingswerken enzovoorts, als organisatorische of beleidsmatige maatregelen, zoals de verplichting gebruik te maken van loodsen of sleepboten.
Aanvaarenergie	De scheepsenergie van een schip in vaarrichting die deze ten tijde van de aanvaring heeft.
Aanvaarrisico	<p>Het aanvaarrisico is een van de externe risico's die het functioneren van een object kan bedreigen. De definitie van aanvaarrisico in deze methode beperkt zich tot de aanvaring van het object door schepen / voertuigen of samenstellingen van meerdere schepen / voertuigen die zich zelfstandig voortbewegen over water.</p> <p>In de ruime zin vallen ook aanvaringen tussen schepen / voertuigen of samenstelling van meerdere schepen / voertuigen onder de definitie, alsmede het zinken van een of meerdere schepen, en het verliezen van lading, ankers of brandstoffen ter hoogte van het object.</p> <p>Binnen de ProBO methode moet bij de beoordeling van de externe risico's zowel de in dit document beschreven methode aanvaarrisico in de enge definitie als de bredere component van het totale aanvaarrisico beschouwd worden.</p>
Aanvaarseveiligheid	Aanvaarseveiligheid kan gezien worden als de inverse van het aanvaarrisico, dit is het resultaat van de ruwe kans op aanvaring en de maatregelen die getroffen worden om het aantal aanvaringen, de impact van de aanvaringen op het functioneren en de niet-beschikbaarheidsduur als gevolg van aanvaringen te reduceren.
Beschikbaarheid	De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie op een gegeven willekeurig moment kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden. Dit komt overeen met de fractie van de tijd dat de vereiste functie kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden.
Conservatief	Een inschatting aan de veilige en daarmee pessimistische kant. Veelal gebruikt omdat nauwkeurigere gegevens niet of niet eenvoudig

voorhanden zijn.

Grenssnelheid	De fysisch maximaal haalbare snelheid die een schip kan varen gegeven het vaarwegprofiel. Als economisch optimale vaarsnelheid wordt gewoonlijk 90% van de grenssnelheid gehanteerd.
Maatgevend schip	Het grootste schip, dat de betreffende vaarweg vlot en veilig kan bevaren en bepalend is voor de CEMT-klasse van de vaarweg en de daarin gelegen kunstwerken. De vaarwegbeheerder stelt de afmetingen van het maatgevende schip vast.
Maatgevende snelheid	Zie grenssnelheid.
Risicogestuurd beheer en onderhoud / ProBO	Risicogestuurde wijze van beheren en onderhouden van objecten waarmee continu aangetoond kan worden dat aan de gestelde RAMS prestatie-eisen wordt voldaan. ProBO is binnen RWS de meest gedetailleerde invulling van risicogestuurd aanleggen, beheren en onderhouden.
Scheepsklasse	Indeling van schepen naar een gezamenlijke factor, zoals maat, snelheid of transportcategorie. In de binnenvaart worden hier de CEMT klassen voor gehanteerd.

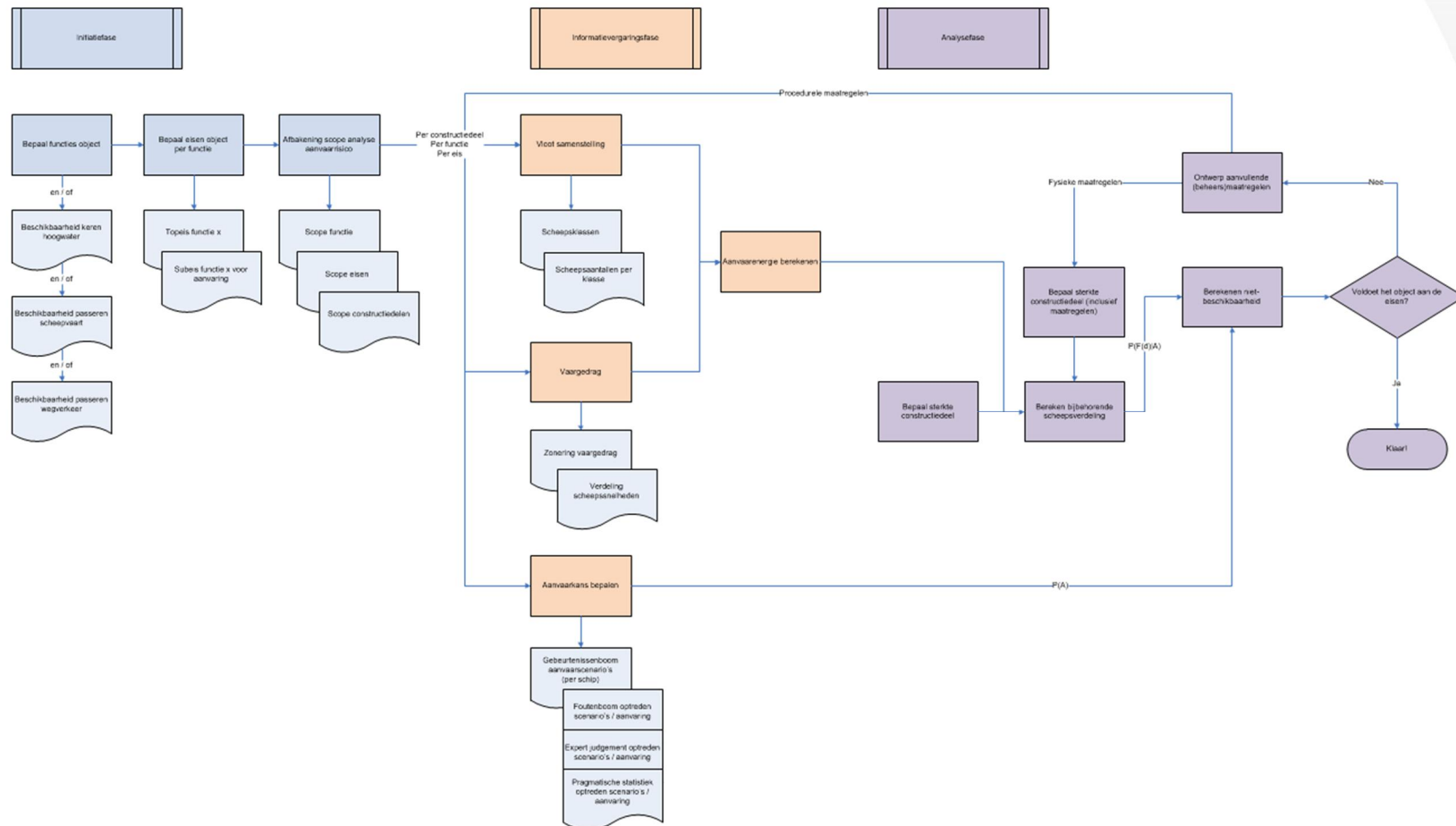


## 8 Literatuurlijst

- [1] Handreiking prestatiegestuurde risicoanalyses (PRA), Rijkswaterstaat, versie 1.0.0, september 2016;
- [2] Richtlijn ontwerpen kunstwerken (ROK), Rijkswaterstaat, januari 2013
- [3] Aanzet tot kwantitatieve risicoanalyse van aanvaringen van bruggen en sluizen in binnenvaartwegen, TNO, Rapportnummer 2015 R10815, juni 2015
- [4] Richtlijn vaarwegen 2011, Rijkswaterstaat, Dienst verkeer en scheepvaart, december 2011
- [5] Eurocode NEN-EN 1991-1-7:2006 NL; Eurocode 1: Belastingen op constructies, Deel 1-7: Algemene belastingen – buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
- [6] Handreiking Externe Gebeurtenissen – Screening, Rijkswaterstaat, versie 1.0.1, september 2017
- [7] Inschatting risico op aanvaring nieuwe keersluis Limmel, Marin, Rapportnummer 27551-1-MSCN-REV.4, juli 2014
- [8] Aanvaarkans nieuwe zeesluis IJmuiden, TNO, juni 2014



## Bijlage A Stroomschema methode aanvaarrisico



## Bijlage B Generieke gebeurtenisboom schutsluis<sup>1</sup>

### B.1 Generiek proces sluispassage

Tijdens normaal bedrijf bestaat het generieke proces uit de volgende stappen:

1. Uitgangspunt is dat het licht op rood staat.
2. Bij het naderen van een sluis(complex) neemt de schipper via de marifoon contact op met de bedienaar. De schipper geeft aan wie hij is, van welke kant hij komt en dat hij de sluis wil passeren. De bedienaar geeft aan, indien van toepassing, welke kolk de schipper is toegewezen, wanneer (tijdstip) de schipper mag passeren en in welke volgorde c.q. plaatsing ten opzichte van de andere schepen.
3. Afhankelijk van de timing, vaart de schipper door of legt hij het schip stil (dobberen of afmeren).
4. De bedienaar opent de eerste sluisdeur(en) (gezien vanaf het schip).
5. De bedienaar zet de lichten van de kolk op groen.
6. De schipper vaart de kolk in.
7. Na invaren van de schepen zet de bedienaar de sluislichten op rood en sluit de achterste deuren. Vervolgens opent hij de schuiven om te nivelleren (waterinlaat of wateruitstroom). Wanneer het waterniveau gelijk is, opent hij de voorste deuren. Na volledig openen van de deuren zet hij het licht op groen.
8. De schipper vaart de kolk uit.

Voor de analyse van het aanvaarrisico bij het schutten is dit voldoende. In de praktijk heeft de bedienaar het licht voor de schepen vanuit de andere richting op rood gezet en start het proces opnieuw. Het risico dat de bedienaar de deuren sluit terwijl het schip nog aan het uitvaren beschouwen we niet in deze analyse maar dient onderdeel te zijn van de beschikbaarheidsanalyse van het schutproces.

### B.2 Gebeurtenissenboom aanvaarscenario's sluis

In de gebeurtenissenboom worden de gebeurtenissen weergegeven die onderdeel maken van het reguliere sluisproces. Wanneer een fout optreedt tijdens één van deze gebeurtenissen, kan dat leiden tot een aanvaring.

---

<sup>1</sup> Nadere toelichting op de gepresenteerde gebeurtenissenboom en onderliggende foutenbomen is te vinden in [3].



Schip vaart richting sluis	Communicatie	Sein	Sluis open	Invaren	Sluis dicht	Consequence	Frequency
Null	Success	Success	Success	Success	Success	GEEN AANVARING	
					Failure	AANVARING DEELS GEOPENDE SLUIS	
					Null	AANVARING GESLOTEN SLUIS	
					Failure	AANVARING DEELS GEOPENDE SLUIS	
					Null	AANVARING DEELS GEOPENDE SLUIS	
					Failure	AANVARING GESLOTEN / DEELS GEOPEND SLUIS	
					Success	GEEN AANVARING	
					Failure	AANVARING GESLOTEN / DEELS GEOPEND SLUIS	
					Null		
					Null		

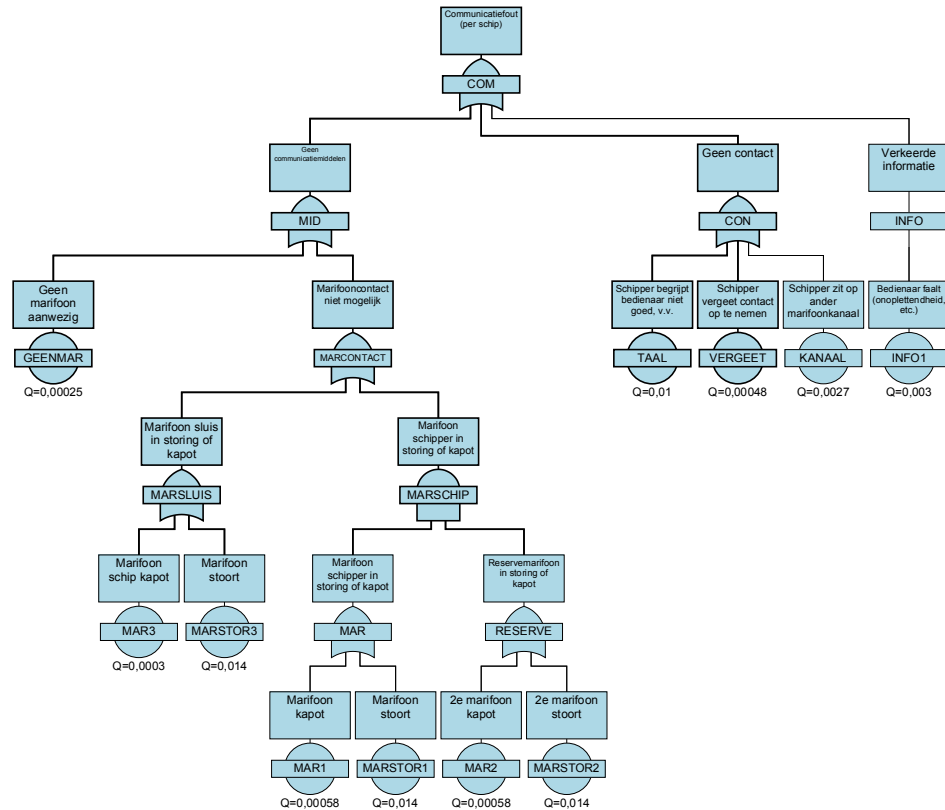
In onderstaande tabel worden de gebeurtenissen nader toegelicht.

Gebeurtenis	Processtap	Omschrijving
Schip vaart richting sluis	Voor 1	Een binnenvaartschip vaart richting de sluis. Er zijn geen bijzonderheden.
Communicatie	2	De processtap communicatie, dus het verbale contact tussen schipper en bedienaar over het openen van de sluis, de tijd en de volgorde waarin het schip aan de beurt is. Deze stap kan succesvol verlopen (de schipper begrijpt wanneer de sluis open gaat en in welke volgorde hij aan de beurt is) of falen (wanneer één van de bovenstaande aspecten niet begrepen is). Falen van de communicatie kan tot aanvaren leiden, wanneer de schipper ook het sein negeert. Wanneer de schipper het sein opvolgt, vindt geen aanvaring plaats.
Sein	2 en 3	De processtap sein geeft aan of een schipper moet wachten (rood) of dat hij mag doorvaren (groen). Deze stap verloopt succesvol wanneer de schipper handelt overeenkomstig het sein en dus wacht wanneer dat verwacht wordt (rood en rood-groen). Falen treedt op wanneer de schipper doorvaart bij rood licht. Wachten bij groen licht wordt niet als falen gezien. Doorvaren door rood licht leidt in principe tot een aanvaring - de sluis is dan dicht. Doorvaren door rood-groen kan, maar hoeft niet noodzakelijkerwijs, tot een aanvaring leiden. Hier wordt conservatief aangenomen dat doorvaren door rood-groen leidt tot aanvaren. De correctie van de schipper die het sein negeert, maar de dichte sluis ziet en dan alsnog achteruit slaat waardoor een aanvaring wordt voorkomen, is niet meegenomen.

Sluis open	4 en 5	De processtap sluis open geeft aan dat de sluis geopend wordt om de doorvaart te kunnen toestaan. Succes is wanneer de sluis opent zonder problemen. Falen treedt op wanneer de sluis niet goed opent (storing optreedt) en tegelijkertijd een schipper het rood-groene sein negeert. Deze combinatie leidt in principe tot een aanvaring met de sluis. Alleen het in storing raken van de sluis is onvoldoende om tot een aanvaring te leiden. Alleen het door rood-groen varen is niet voldoende voor een aanvaring omdat de sluis al voldoende geopend kan zijn waardoor geen aanvaring optreedt (al wordt dit in de vorige processtap wel conservatief aangenomen). Het corrigeren door een schipper, bijvoorbeeld door hard achteruit te slaan, is niet meegenomen.
Invaren	6	De processtap invaren betreft het invaren van het schip nadat de sluis geopend is, op basis van groen licht. Succes treedt op wanneer het schip zonder aanvaring de geopende sluis invaart. Falen treedt op wanneer het schip een sluisdeur aanvaart. Dit kan de tweede, gesloten deur zijn of de eerste geopende deur indien deze onderdeel is van de kolkwand.
Sluis dicht	7	Deze processtap betreft het sluiten van de sluis. Succes treedt op wanneer het sluiten zonder aanvaring plaatsvindt. Falen treedt op wanneer de sluis te vroeg dicht gaat en daarbij een invarend schip raakt.

De gebeurtenissen zoals genoemd in de gebeurtenissenboom, kunnen fout gaan. Wat daarvan de oorzaken zijn, wordt nader uitgewerkt in foutenbomen.

### B.3 Foutenboom communicatie faalt

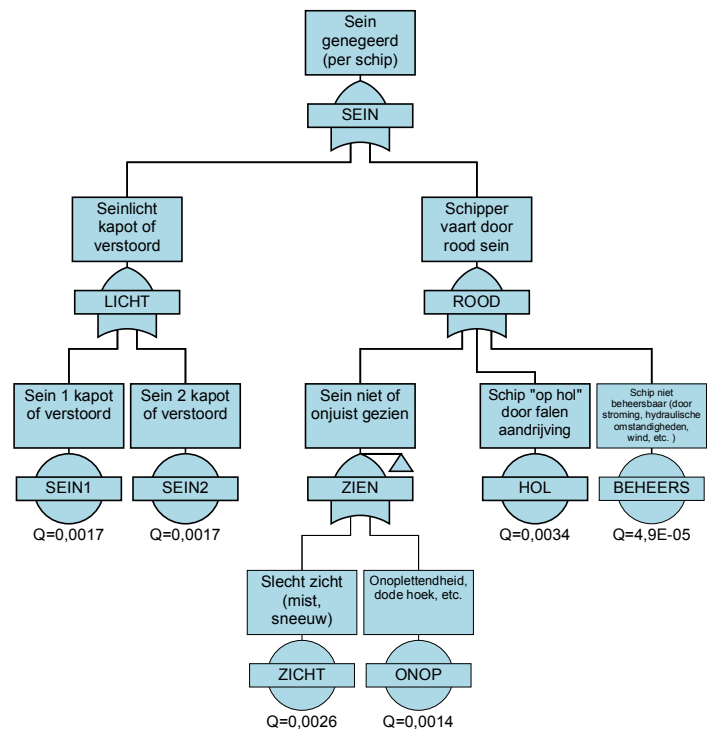


In onderstaande tabel worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
GEENMAR	De schipper kan geen contact opnemen met de bedienaar want er is geen marifoon aan boord.
MAR1, MAR2, MAR3	De marifoon faalt technisch, waardoor het niet mogelijk is om contact te maken.
MARSTOR1, MARSTOR2, MARSTOR3	De marifoon stoort, waardoor het (tijdelijk) niet mogelijk is om contact te maken. Conservatief wordt ervan uitgegaan dat de marifoon stoort gedurende de gehele periode die van belang is voor het tijdig communiceren.
TAAL	De schipper begrijpt de bedienaar niet goed en/of vice versa, waardoor informatie onvoldoende duidelijk wordt uitgewisseld, bijvoorbeeld als gevolg van taalproblemen.
VERGEET	De schipper vergeet contact op te nemen, bijvoorbeeld door

	vermoeidheid of afleiding door andere zaken.
KANAAL	De schipper zit op een ander (verkeerd) marifoonkanaal waardoor hij niet tijdig contact met de bedienaar kan opnemen.
INFO1	De bedienaar verstrekt verkeerde informatie aan de schipper over bijvoorbeeld tijd tot openen, volgorde etc.

#### B.4 Foutenboom sein

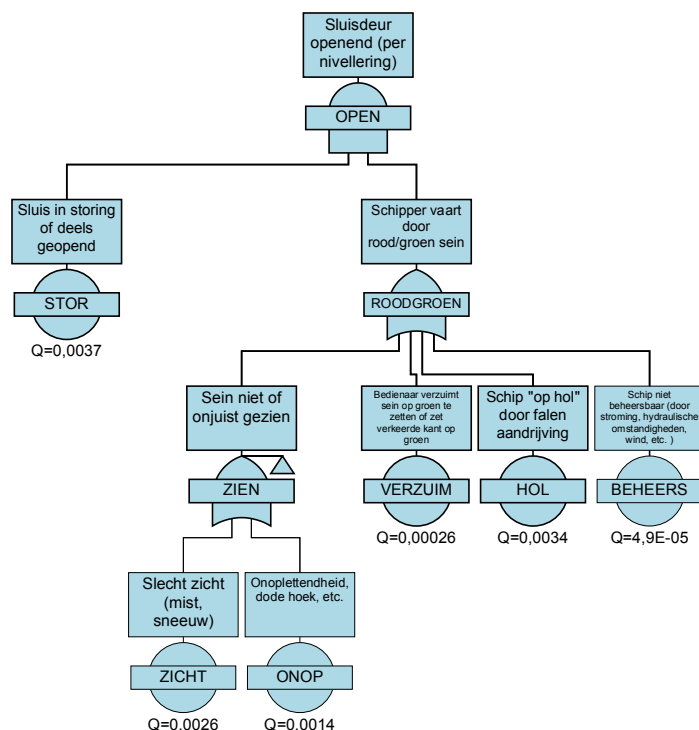


In onderstaande tabel worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
SEIN1, SEIN2	Het seinlicht is kapot of verstoord waardoor geen of het onjuiste seinlicht wordt getoond.
ZICHT	Het zicht is slecht door bijvoorbeeld weersomstandigheden, waardoor het seinlicht niet of onjuist wordt gezien.
ONOP	Het seinlicht wordt niet gezien door onoplettendheid, bijvoorbeeld door afleiding.
HOL	De aandrijving van het schip faalt, waardoor het schip met een

	ongecontroleerde, te hoge snelheid vaart en het rode sein negeert.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

## B.5 Foutenboom sluis open

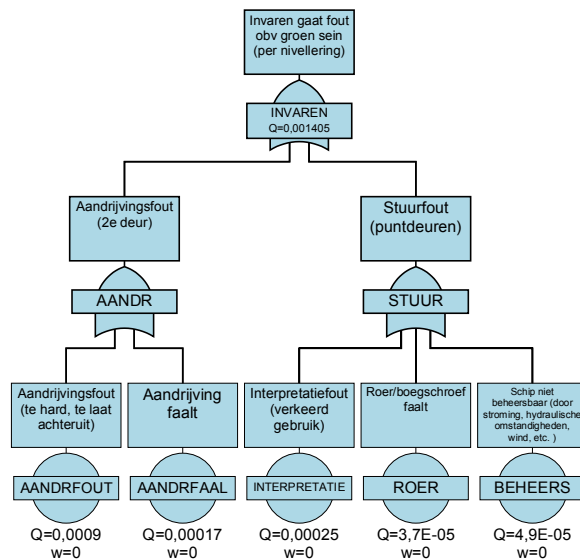


In onderstaande tabel worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
STOR	De sluis is dicht of nog niet voldoende geopend door een storing.
ZICHT	Het zicht is slecht door bijvoorbeeld weersomstandigheden, waardoor het seinlicht niet of onjuist wordt gezien.
ONOP	Het seinlicht wordt niet gezien door onoplettendheid, bijvoorbeeld door afleiding.
VERZUIM	De bedienaar verzuimt het sein op groen te zetten of zet de verkeerde kant op groen. De schipper vaart desondanks door (rood-groen).
HOL	De aandrijving van het schip faalt,

	waardoor het schip met een ongecontroleerde, te hoge snelheid vaart en het rode sein negeert.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

## B.6 Foutenboom invaren

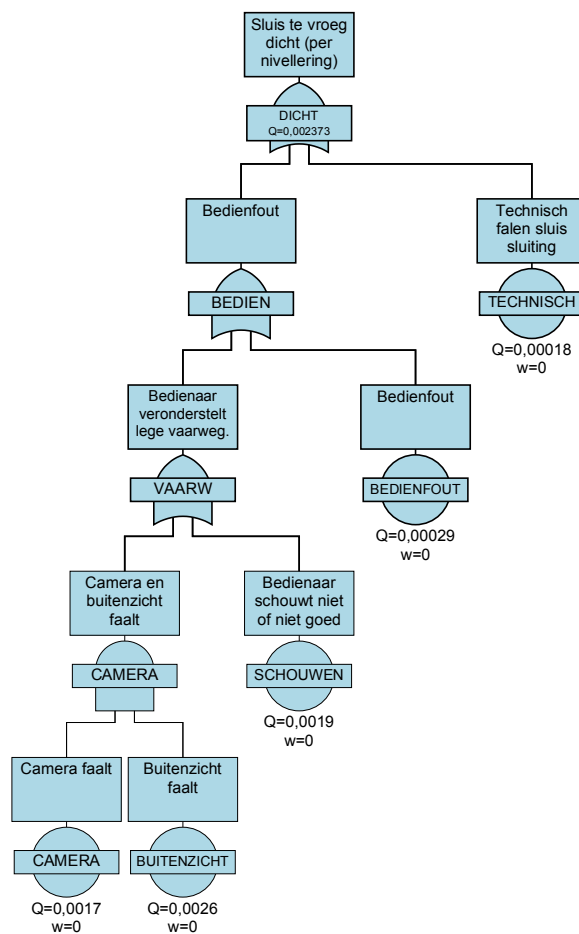


In onderstaande tabel worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
AANDRFOUT	Een menselijke fout waarbij de aandrijving onjuist of niet wordt bediend. Bijvoorbeeld te hard varen, te laat achteruit slaan, te laat vaart minderen, met als gevolg een aanvaring van de tweede deur.
AANDRFAAL	Een technische fout waarbij de aandrijving zodanig faalt dat de snelheid niet gewijzigd kan worden. Het schip vaart daardoor op die bepaalde snelheid door en raakt de tweede deur. Falen van de aandrijving waarbij de snelheid juist mindert, valt buiten de scope van dit begrip. Ook met (te) hoge snelheid de kolkwand of andere vast onderdelen van de sluis aanvaren,

	valt buiten de scope.
INTERPRETATIE	Er wordt een stuurfout gemaakt door foutief menselijk handelen, bijvoorbeeld een onjuiste interpretatie van de omstandigheden.
ROER	Er wordt een stuurfout gemaakt door technisch falen van het roer of de boegschroef.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

## B.7 Foutenboom sluis dicht



In onderstaande tabel worden de faalwijzen nader toegelicht.

Gebeurtenis	Omschrijving
-------------	--------------



CAMERA	De camera waarmee de bedienaar de vaarweg schouwt, faalt. Hierdoor kan de bedienaar de vaarweg niet zien als ook het buitenzicht faalt. In de praktijk is het camerabeeld in het donker of bij veel regen heel slecht, waarbij de bedienaar (op afstand) onvoldoende goed zicht heeft of er wel of geen schip is. Ook dit wordt onder falen beschouwd.
BUITENZICHT	Het buitenzicht faalt wanneer op afstand wordt bediend, wanneer geen buitenzicht aanwezig is of wanneer het zicht wordt ontnomen door bijvoorbeeld dichte mist. Wanneer eveneens het camerazicht faalt, heeft de bedienaar geen zicht op de vaarweg.
SCHOUWEN	De bedienaar schouwt de vaarweg om te zien of deze vrij van schepen is en de sluis kan sluiten. Wanneer de bedienaar niet of niet goed schouwt, is het mogelijk dat schepen over het hoofd worden gezien.
BEDIENFOUT	De sluis kan te vroeg worden gesloten doordat de bedienaar een bedienfout maakt. Bijvoorbeeld door op een verkeerde knop te drukken. Dit kan het gevolg zijn van onoplettendheid, vermoeidheid, etc.
TECHNISCH	De sluis gaat te vroeg dicht door technisch falen. Ook softwarefouten die leiden tot het onbedoeld sluiten van de sluis, valt hieronder.

## Bijlage C Gebeurtenissenboom van een beweegbare brug<sup>2</sup>

### C.1 Generiek proces

Tijdens normaal bedrijf van een beweegbare brug worden de volgende stappen doorlopen. Hierbij kan sprake kan zijn van het doorlaten van één of meerdere schepen en van één of meerdere kanten:

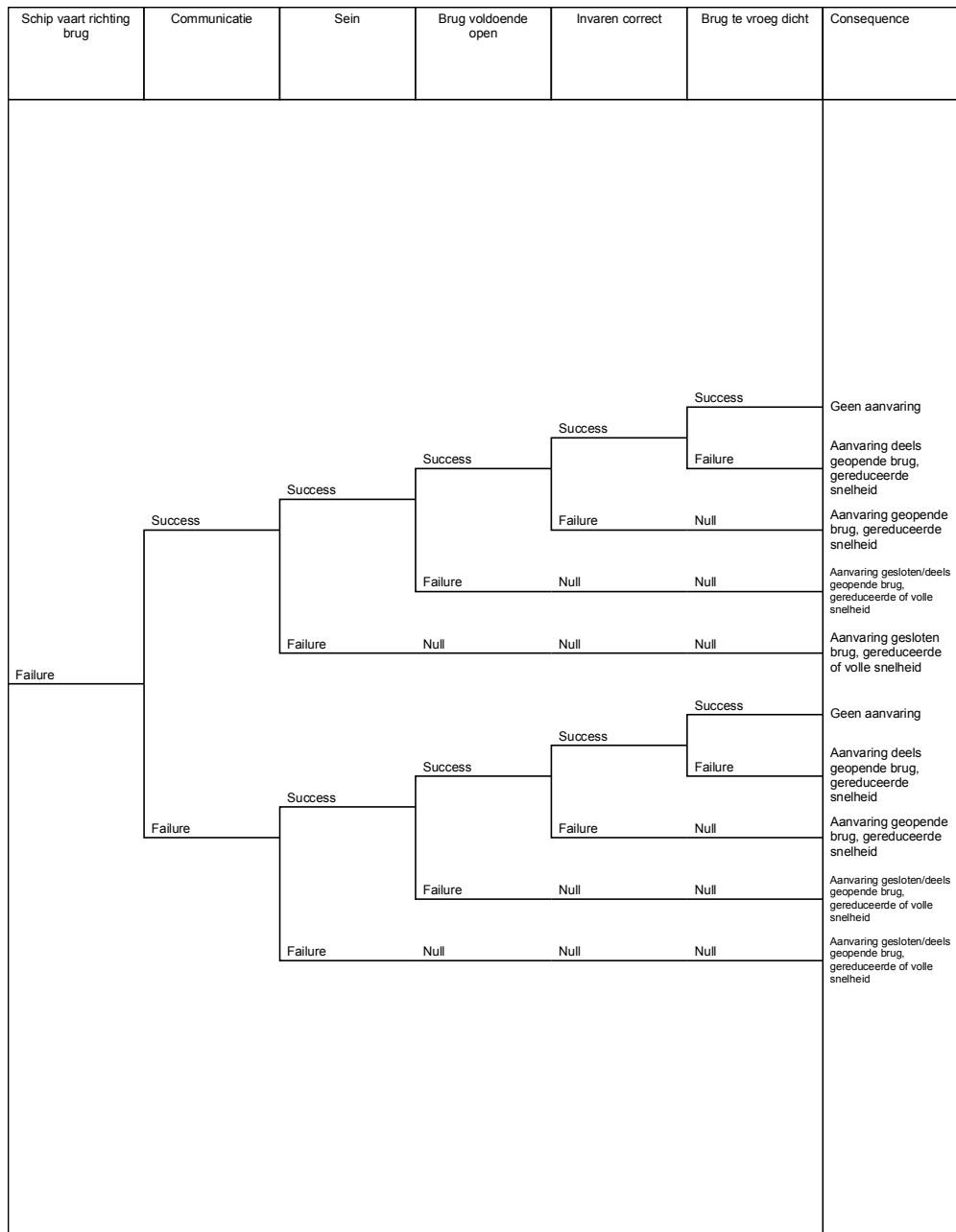
1. Uitgangspunt is dat het licht op rood staat.
2. Bij het naderen van een beweegbare brug neemt de schipper via de marifoon contact op met de bedienaar. De schipper geeft aan dat hij de brug wil passeren. De bedienaar geeft aan wanneer (tijdstip) de schipper mag passeren en in welke volgorde ten opzichte van de andere schepen.
3. Afhankelijk van de timing, vaart de schipper door of legt hij het schip stil (dobberen/drijven of afmeren).
4. De bedienaar zet het sein op rood-groen en draait de brug omhoog.
5. De bedienaar zet het licht op groen.
6. De schipper vaart onder de open brug door.
7. Wanneer het (laatste) schip onder de brug door is, zet de bedienaar het licht op rood en draait de brug neer.

### C.2 Gebeurtenissenboom scenario's aanvaring van beweegbare brug

In de gebeurtenissenboom worden de gebeurtenissen weergegeven die onderdeel maken van het reguliere brugproces. Wanneer een fout optreedt tijdens één van deze gebeurtenissen, kan dat leiden tot een aanvaring.

---

<sup>2</sup> Nadere toelichting op de gepresenteerde gebeurtenissenboom en onderliggende foutenbomen is te vinden in [3].



In onderstaande tabel worden de gebeurtenissen nader toegelicht.

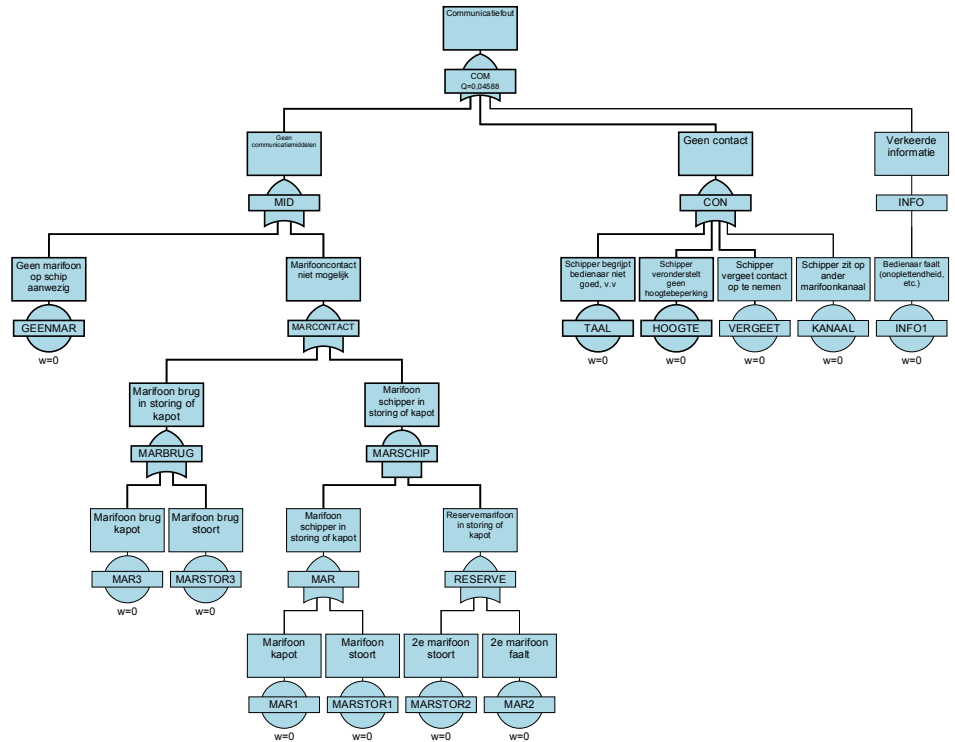
Gebeurtenis	Processtap	Omschrijving
Schip vaart richting brug	Voor 1	Een binnenvaartschip (niet-vergunningsplichtig) vaart richting de brug. Er zijn geen bijzonderheden.
Communicatie	2	De processtap communicatie, dus het verbale contact tussen schipper en bedienaar over het openen van de brug, de tijd en de volgorde waarin het schip aan de beurt is. Deze stap kan succesvol verlopen (de schipper begrijpt wanneer de brug open gaat en in welke volgorde hij aan de beurt is) of falen (wanneer één van de bovenstaande aspecten niet begrepen is). Falen van de communicatie kan tot aanvaren leiden, wanneer de schipper ook het sein negeert. Wanneer de schipper het sein opvolgt, vindt geen aanvaring plaats.
Sein	3	De processtap sein geeft aan of een schipper moet wachten (rood) of dat hij mag doorvaren (groen). Deze stap verloopt succesvol wanneer de schipper handelt overeenkomstig het sein en dus wacht wanneer dat verwacht wordt (rood en rood-groen). Falen treedt op wanneer de schipper doorvaart bij rood licht. Wachten bij groen licht wordt niet als falen gezien. Doorvaren door rood licht leidt in principe tot een aanvaring, want de brug is dan dicht. Doorvaren door rood-groen kan, maar hoeft niet noodzakelijkerwijs, tot

		<p>een aanvaring leiden. Hier wordt conservatief aangenomen dat doorvaren door rood-groen leidt tot aanvaren. De correctie van de schipper die het sein negeert, maar de dichte brug ziet en dan alsnog achteruit slaat waardoor een aanvaring wordt voorkomen, is niet meegenomen.</p>
Brug open	4	<p>De processtap brug open geeft aan dat de brug geopend wordt om de doorvaart te kunnen toestaan. Succes is wanneer de brug opent zonder problemen. Falen treedt op wanneer de brug niet goed opent (storing optreedt) en tegelijkertijd een schipper het rood-groene sein negeert. Deze combinatie leidt in principe tot een aanvaring met de brug. Alleen het in storing raken van de brug is onvoldoende om tot een aanvaring te leiden. Alleen het door rood-groen varen is niet voldoende voor een aanvaring omdat de brug al voldoende geopend kan zijn waardoor geen aanvaring optreedt (al wordt dit in de vorige processtap wel conservatief aangenomen). Het corrigeren door een schipper, bijvoorbeeld door hard achteruit te slaan, is niet meegenomen.</p>
Invaren (eigenlijk doorvaren maar om zoveel mogelijk aan te kunnen sluiten bij de andere gebeurtenisbomen noemen we het hier ook invaren)	4, 5 en 6	<p>De processtap invaren betreft het doorvaren van het schip nadat de brug geopend is, op basis van groen licht. Succes treedt op wanneer het schip zonder aanvaring onder de geopende brug doorvaart en</p>

		zijn weg vervolgt. Falen treedt op wanneer het schip de geopende brug aanvaart. Dit kan alleen bij bruggen waarvan het beweegbare deel boven de vaarweg uitsteekt of gedeeltelijk in de vaarweg steekt, zoals een draaibrug.
Brug dicht	7	Deze processtap betreft het sluiten van de brug. Succes treedt op wanneer het sluiten zonder aanvaring plaatsvindt. Falen treedt op wanneer de brug te vroeg dicht gaat en daarbij een uitvarend schip raakt.

Van elke processtap is een foutenboom gemaakt. Die worden hieronder gepresenteerd.

### C.3 Foutenboom communicatie

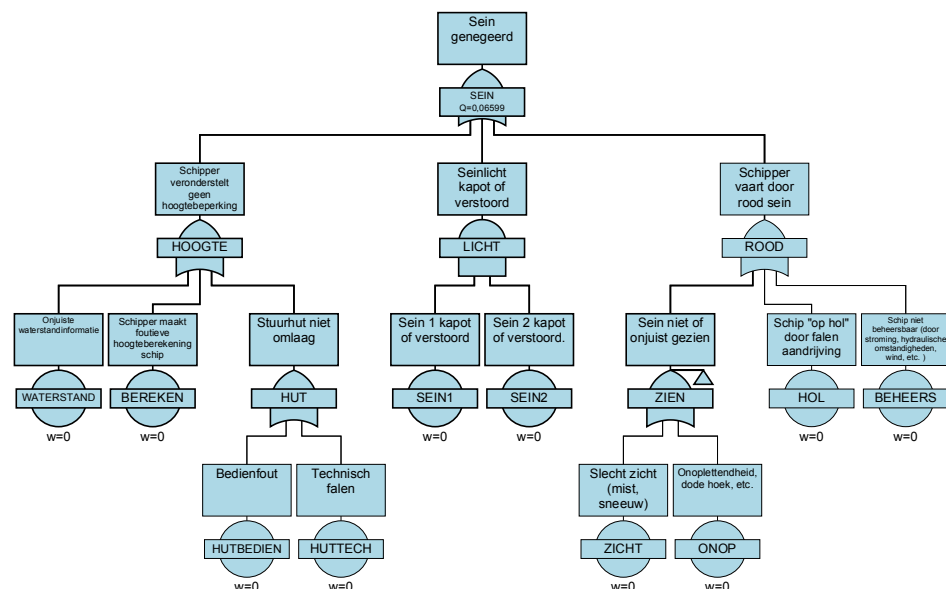


Hieronder worden de faalwijzen beschreven.

Faalwijze	Omschrijving
GEENMAR	De schipper kan geen contact opnemen met de bediener want er is geen marifoon aan boord.
MAR1, MAR2, MAR3	De marifoon faalt technisch, waardoor het niet mogelijk is om contact te maken.
MARSTOR1, MARSTOR2, MARSTOR3	De marifoon stoort, waardoor het (tijdelijk) niet mogelijk is om contact te maken. Conservatief wordt ervan uitgegaan dat de marifoon stoort gedurende de gehele periode die van belang is voor het tijdig communiceren.
TAAL	De schipper begrijpt de bediener niet goed en/of vice versa, waardoor informatie onvoldoende duidelijk wordt uitgewisseld, bijvoorbeeld als gevolg van taalproblemen.
HOOGTE	De schipper neemt geen contact op omdat hij veronderstelt geen hoogtebeperking te hebben en direct

	te kunnen doorvaren.
VERGEET	De schipper vergeet contact op te nemen, bijvoorbeeld door vermoeidheid of afleiding door andere zaken.
KANAAL	De schipper zit op een ander (verkeerd) marifoonkanaal waardoor hij niet tijdig contact met de bedienaar kan opnemen.
INFO1	De bedienaar verstrekt verkeerde informatie aan de schipper over bijvoorbeeld tijd tot openen, volgorde etc.

#### C.4 Foutenboom sein



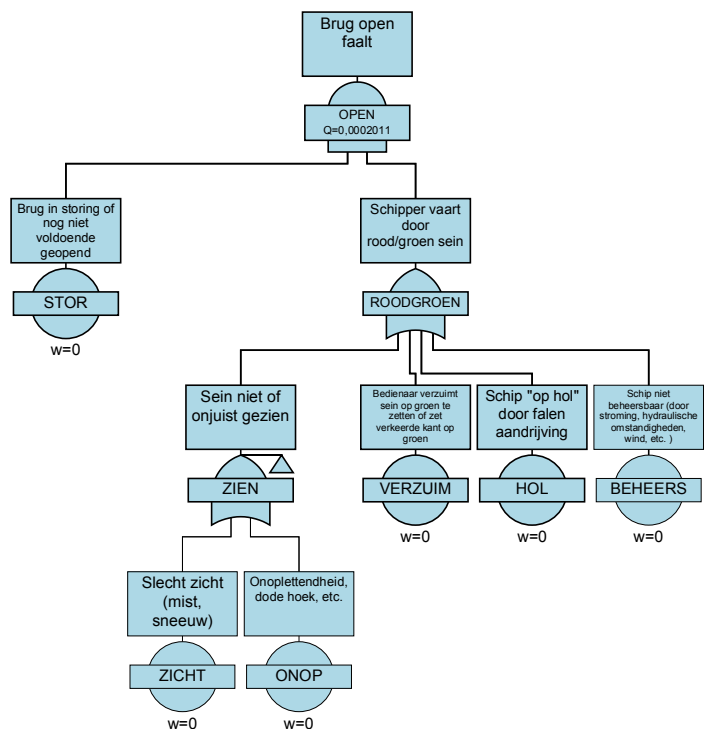
Hieronder worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
WATERSTAND	De schipper ontvangt onjuiste waterstandsinformatie, waardoor hij onterecht veronderstelt geen hoogtebeperking te hebben.
BEREKEN	De schipper maakt een foutieve hoogteberekening, waardoor hij onterecht veronderstelt geen hoogtebeperking te hebben.
HUTBEDIEN	De stuurhut is onterecht niet omlaag gedraaid door niet of onjuist



	bedienen.
HUTTECH	De schipper wil de stuurhut omlaag draaien, maar er treedt technisch falen op waardoor de stuurhut omhoog blijft.
SEIN1, SEIN2	Het seinlicht is kapot of verstoord waardoor geen of het onjuiste seinlicht wordt getoond.
ZICHT	Het zicht is slecht door bijvoorbeeld weersomstandigheden, waardoor het seinlicht niet of onjuist wordt gezien.
ONOP	Het seinlicht wordt niet gezien door onoplettendheid, bijvoorbeeld door afleiding.
HOL	De aandrijving van het schip faalt, waardoor het schip met een ongecontroleerde, te hoge snelheid vaart en het rode sein negeert.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

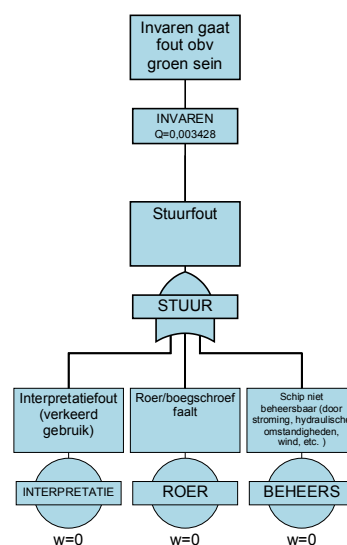
## C.5 Foutenboom brug open



Hieronder worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
STOR	De brug is dicht of nog niet voldoende geopend door een storing.
ZICHT	Het zicht is slecht door bijvoorbeeld weersomstandigheden, waardoor het seinlicht niet of onjuist wordt gezien.
ONOP	Het seinlicht wordt niet gezien door onoplettendheid, bijvoorbeeld door afleiding.
VERZUIM	De bedienaar verzuimt het sein op groen te zetten of zet de verkeerde kant op groen. De schipper vaart desondanks door (rood-groen).
HOL	De aandrijving van het schip faalt, waardoor het schip met een ongecontroleerde, te hoge snelheid vaart en het rode sein negeert.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

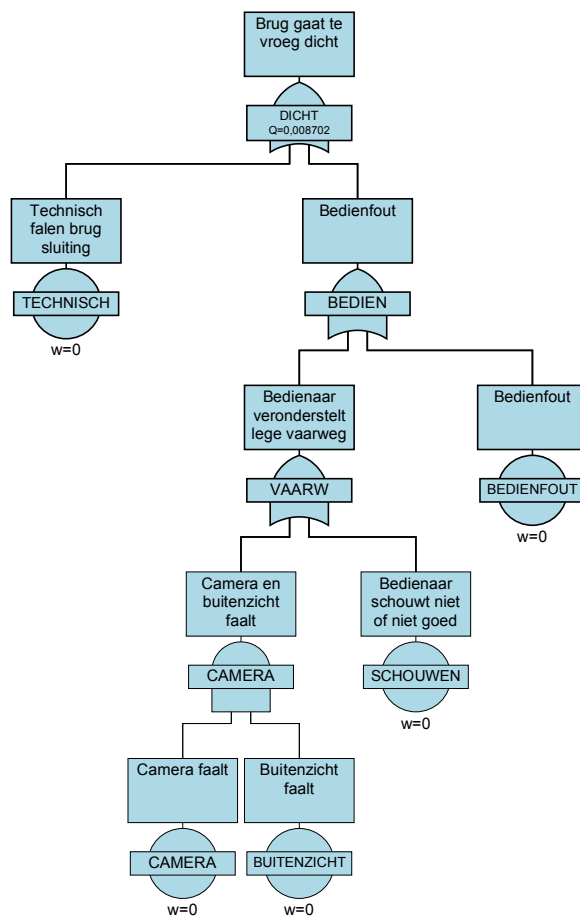
## C.6 Foutenboom invaren



Hieronder worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
INTERPRETATIE	Er wordt een stuurfout gemaakt door foutief menselijk handelen, bijvoorbeeld een onjuiste interpretatie van de omstandigheden.
ROER	Er wordt een stuurfout gemaakt door technisch falen van het roer of de boegschroef.
BEHEERS	De richting en in mindere mate de snelheid van een schip is ongecontroleerd door de invloed van externe factoren zoals stroming, wind, etc. Hierdoor vaart het schip door rood sein.

### C.7 Foutenboom brug dicht



Hieronder worden de faalwijzen nader toegelicht.

Faalwijze	Omschrijving
TECHNISCH	De brug gaat te vroeg dicht door technisch falen van de brug. Ook softwarefouten die leiden tot het onbedoeld dalen van de brug, valt hieronder.
CAMERA	De camera waarmee de bedienaar de vaarweg schouwt, faalt. Hierdoor kan de bedienaar de vaarweg niet zien als ook het buitenzicht faalt. In de praktijk is het camerabeeld in het donker of bij veel regen heel slecht, waarbij de bedienaar (op afstand) onvoldoende goed zicht heeft of er wel of geen schip is. Ook dit wordt onder falen beschouwd.
BUITENZICHT	Het buitenzicht faalt wanneer op afstand wordt bediend, wanneer geen buitenzicht aanwezig is of wanneer het zicht wordt ontnomen door bijvoorbeeld dichte mist. Wanneer eveneens het camerazicht faalt, heeft de bedienaar geen zicht op de vaarweg.
SCHOUWEN	De bedienaar schouwt de vaarweg om te zien of deze vrij van schepen is en de brug kan zakken. Wanneer de bedienaar niet of niet goed schouwt, is het mogelijk dat schepen over het hoofd worden gezien.
BEDIENFOUT	De brug kan te vroeg wordt gesloten doordat de bedienaar een bedienfout maakt. Bijvoorbeeld door op een verkeerde knop te drukken. Dit kan het gevolg zijn van onoplettendheid, vermoeidheid, etc.

## Bijlage D Zonering objecten

Op hoog detailniveau zijn de diverse objecten met aanvaarrisico in vier types te onderscheiden (zie ook hoofdstuk 4 vaarsnelheden en zonering):

1. Schutsluizen
2. stormvloedkeringen en keersluizen
3. beweegbare bruggen
4. stuwen.

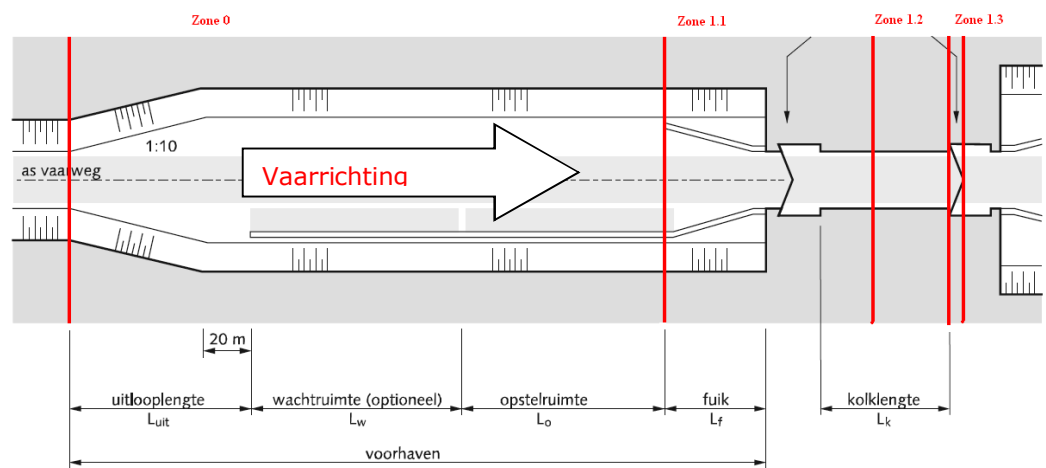
In deze paragraaf geven we invulling aan de keuzes qua zonering per type object.

*Nota bene: onderstaande generieke situaties gaan steeds uit van een eenvoudig en symmetrisch ontwerp. Voor iedere locatie moet bepaald worden hoe de zones exact liggen, rekening houdend met bijzonderheden zoals meerdere kolken, versprongen kolken, (beweegbare) bruggen, kruisende vaarwegen, enzovoorts.*

### D.1

#### Zonering schutsluizen – ‘gesloten, totdat...’

Schutsluizen vormen een natuurlijke barrière in de vaarweg, schippers weten vooraf dat ze op enig moment tot stilstand zullen moeten komen en benaderen niet op de maximaal aannemelijke grenssnelheid het object. Het snelheidsbeeld rondom een schutsluis is daarbij wel zeer divers, zoals onderstaande figuur laat zien.



**Figuur B-1 Zonering schutsluizen**

$L_{uit}$  moet tenminste 2,5 maal de lengte van het maatgevende (grootste) schip zijn [4]

$L_o$  moet minimaal 1,1 maal de lengte van de kolk zijn [4]

Zone 0	Dit gebied bestrijkt de voorhaven aan het buitenhoofd van het object, strekkend van x meter voor het object tot aan de tip van het eerste remmings- of geleidingswerk behorende bij het object. In bovenstaand figuur is x gelijk aan $L_{uit} + L_w + L_o$ , oftewel minimaal 3,6 maal de lengte van het maatgevende (grootste) schip). De afstand is onder andere geënt op het kritische pad waarbij een
--------	--

	schip door motorische, besturings of andere oorzaken faalt en daarbij niet meer gecorrigeerd kan worden voordat het schip in aanvaring komt met het object.
Zone 1.1	Deze zone loopt vanaf de tip van het eerste remmings- of geleidingswerk behorende bij het object tot het maatgevende (grootste) schip een halve scheeps lengte voorbij de buitenhoofden van de sluiskolk is. Wederom wordt hier gekeken naar het kritische pad waarbinnen het schip nog snelheid nodig heeft om te kunnen manoeuvreren.
Zone 1.2	Zone 1.2 loopt vanaf de halve scheeps lengte voorbij het buitenhoofd van de kolk tot aan de stopstreep in de kolk en vormt de ruimte waarin het schip afremt van manoeuvresnelheid tot stilstand.
Zone 1.3	Vervolgens is het laatste stuk van de sluiskolk gedefinieerd als zone 1.3, de correctieruimte van een schip voorbij de stopstreep tot aan de sluisdeur van het binnenhoofd.
Zone 2	Na schutting opent de sluisdeur in het binnenhoofd, waarbij het schip uitvaart. Hierbij is relevant hoeveel snelheid het schip kan maken terwijl het nog binnen de grenzen van het object is.

De zonering is gebonden aan de scheepvaartrichting, en zoals hierboven beschreven voor slechts een van de twee richtingen waarin een schip een sluis passeert. Vanzelfsprekend dienen beide scheepvaartrichtingen in de analyse meegenomen te worden, hiertoe kan de zonering gespiegeld worden op het object.

## D.2 Zonering beweegbare bruggen – ‘gesloten, totdat...’

Er onderscheiden zich bij beweegbare bruggen diverse situaties die terug te leiden zijn tot twee verschillende statussen van de brug (gesloten of geopende brug):

- gesloten brug, waarbij scheepvaart die geen hoogtebeperking heeft zonder van zijn vaarroute af te wijken onder de gesloten brug kan passeren;
- gesloten brug, waarbij scheepvaart die geen hoogtebeperking heeft met manoeuvreren de gesloten brug kan passeren;
- gesloten brug, met scheepvaart die onjuist veronderstelt geen hoogtebeperking te hebben;
- geopende brug, waarbij scheepvaart zonder van zijn vaarroute af te wijken door de geopende brug kan passeren;
- geopende brug waarbij scheepvaart moet manoeuvreren om de geopende brug te passeren.

### Ad 1. Gesloten brug

Wanneer schepen die onder de gesloten brug door kunnen varen geen bijzondere manoeuvres voor de passage hoeven maken is het aanvaarrisico van de oeverconstructie gelijk aan het aanvaarrisico van de wal door technisch falen van een schip over de afstand waarop het schip de mogelijkheid heeft de constructie te raken.

Eventuele pijlers van de brug hebben een aanvullend aanvaarrisico, waarbij de aanvaarkans van de schaduw die de pijler op de oever werpt, gezien vanuit de vaarroute, maatgevend is voor de kans op aanvaring van de pijler.

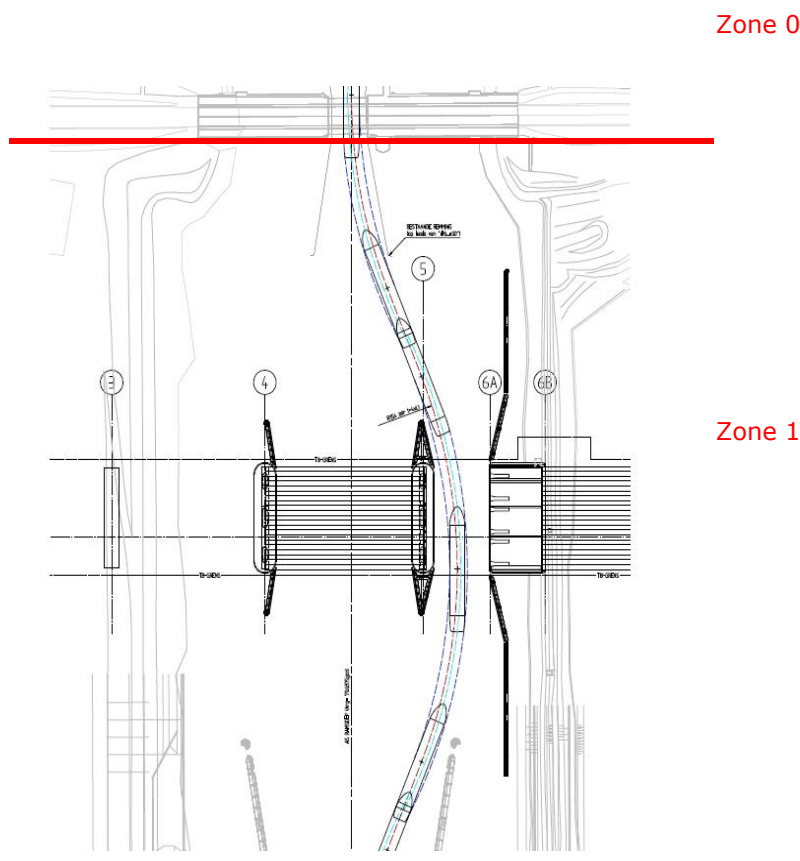
Daarnaast moeten eventuele pijlers beschouwd worden op aantrekkelijkheid als stopobject voor schippers.

Schepen die wel moeten manoeuvreren om de constructie te passeren hebben een aanvullend risico op aanvaring van de constructie vanuit deze manoeuvre, zowel door technisch falen als door menselijk (stuur)falen. Dit aandeel van de totale vloot heeft een additionele kans op falen, welke apart beschouwd moet worden.

Vervolgens dient bij een gesloten brug ook rekening gehouden worden met onjuiste interpretatie van de informatie door de schipper – hij kan onjuist veronderstellen dat de brug geen hoogtebeperking oplevert voor zijn schip. Ook falen van de informatiestroom naar de schipper, bijvoorbeeld verstoorde seinbeelden of onjuiste waterstandinformatie kan in dezen leiden tot aanvaring. Voor het aandeel schepen binnen de totale vloot die een hoogtebeperking hebben moet de kans op menselijk falen en informatiefalen additioneel uitgewerkt worden.

#### *Ad 2. Geopende brug*

Afhankelijk van het ontwerp van de brug en de vaarweg zal de scheepvaart die door een geopende brug passeert al dan niet moeten manoeuvreren om de passage veilig te kunnen maken. Het manoeuvreren op zich vormt een risico op aanvaring. De zonering van het risicogebied is in onderstaand figuur weergegeven.



**Figuur 2-3 Zonering beweegbare bruggen**

Zone 1 wordt gedefinieerd door de afstand waarbinnen schepen moeten manoeuvreren en / of de maatgevende remweg, afhankelijk van welke begrenzing de maatgevende (grootste) afstand oplevert. De maatgevende remweg is gedefinieerd gelijk aan de remweg bij de keersluis - het kritieke pad waarop de

schipper een aanvaring niet meer succesvol kan afwenden. Deze afstand bedraagt minimaal 2,5 maal de scheepslengte van het maatgevende (grootste) schip [4].

In zone 0 kan verondersteld worden dat de aanvaarkans van het object 0 is.

### D.3 Zonering keringen / keersluizen – ‘open, tenzij...’

Er onderscheiden zich twee situaties:

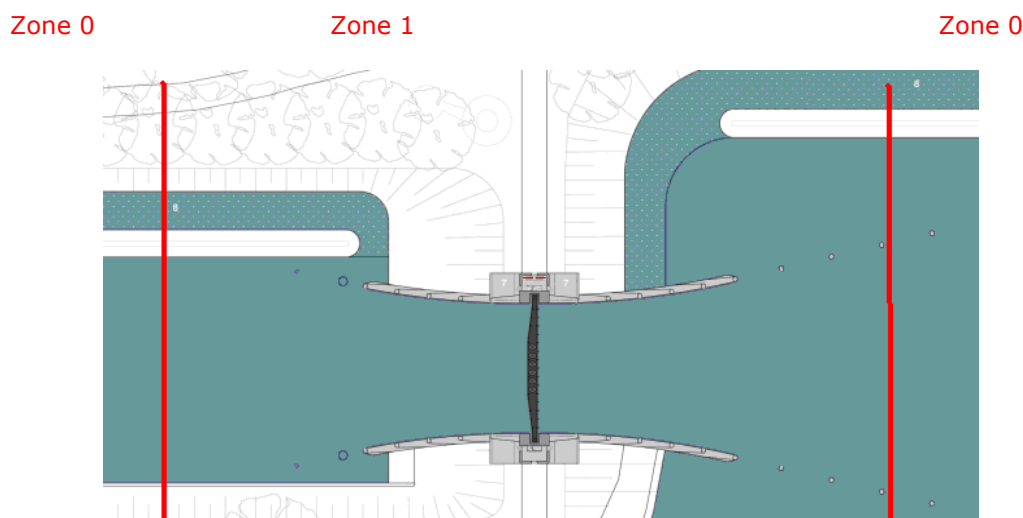
- Niet-gestremde vaarweg
- Gestremde vaarweg

#### Ad 1. Niet gestremde vaarweg

Bij een normale situatie, waarbij de vaarweg dus niet gestremd is, zullen schepen op de meest economische snelheid het object passeren en / of met maximale snelheid met het (deel)object in aanvaring komen. Hierbij dient de methode doorlopen te worden voor een aanvaring van die deelobjecten van een geopende kering die potentieel geraakt kunnen worden door schip op de maximaal haalbare grenssnelheid.

#### Ad 2. Gestremde vaarweg

Een gestremde vaarweg zal in principe niet bevaren worden, tenzij er voor de schippers een aanlegplaats, wachtplaats of haven beschikbaar is. Hierbij is het van belang hoe dicht deze voorzieningen op het object gesitueerd zijn – bevinden deze zich binnen de kritische afstand waarop een schip met menselijk-, motorisch of besturingsfalen potentieel in aanvaring met het object zal komen, of is de afstand voor correcties groot genoeg? De kritische zone is schematisch weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur B-2 Zonering keersluizen / keringen

In zone 1 dient voor de volledige afstand van het kritieke pad waarop de schipper een aanvaring niet meer succesvol kan afwenden een aanvaarrisico beschouwing gedaan te worden. Deze afstand bedraagt minimaal 2,5 maal de scheepslengte van het maatgevende (grootste) schip [4].

In zone 0 kan verondersteld worden dat de aanvaarkans van het object 0 is.



Bij een gestremde vaarweg treedt nog een ander risico op: de kans van het falen van de informatiestroom naar de schipper, danwel door technisch falen danwel door menselijk falen. Als de schipper niet op de hoogte is van de stremming of deze informatie onjuist interpreteert zal deze de gesloten keersluis benaderen op potentieel de maximaal realistisch haalbare grenssnelheid. Hij kan daarbij ook in een later stadium niet opmerken dat hij op een gesloten keermiddel afvaart door verstoorde seinbeelden, mist enzovoorts. In dit geval zal de aanvaarsnelheid gelijk zijn aan de realistisch te behalen grenssnelheid. De kans op deze situatie moet met behulp van een verbijzondering van de foutenboom bepaald worden.

Nota bene. Als het keermiddel niet de volledige vaarweg omvat, en er bijzondere manoeuvres gemaakt moeten worden voor het passeren ervan kan zone 1 noodzakelijkerwijs groter zijn, analoog aan de beweegbare brug. Hierbij kunnen immers additionele faalscenario's, waaronder stuurfalen, ontstaan.

#### **D.4 Zonering stuw – 'dicht, tenzij...'**

Bij het naderen van een stuw zal een schipper in de veronderstelling zijn dat deze gestremd is, tenzij er hoogwater is. Bij hoogwater wordt de stuw gestreken en zal de scheepvaart plaatsvinden door de stuw zelf, in plaats van door de naastgelegen sluis. Aanvaring kan plaatsvinden wanneer de schipper onjuist verondersteld dat het hoogwater is, of wanneer de schipper onjuist geïnformeerd is over het gestreken zijn van de stuw. De situatie daarbij is in principe omgekeerd aan die van een keersluis of een kering, echter, met een gelijke zonering. Er is een zone rondom de stuw te definiëren waarbinnen een aanvaring onafwendbaar is, zoals weergegeven in figuur B-2.