



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2022

*Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland*

Kennisbijdrage:

Einde levensduur overige objecten in het Hoofdwatersysteem

Aanvaarrisico en aanvaarbelaasting -
Aanvaarscenario's met brugpijlers

Auteurs

Migena Zagonjoli	(Deltares)
Dick ten Hove	(MARIN)
Johan van Sloten	(Rijkswaterstaat)
Mirjam Nelisse	(TNO)

kenmerk	: KpNK-2022-KV1.3-kunstwerk-b002
versie	: 1.0
datum publicatie	: 31 december 2025



Voorwoord

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?

Deltares

MARIN



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

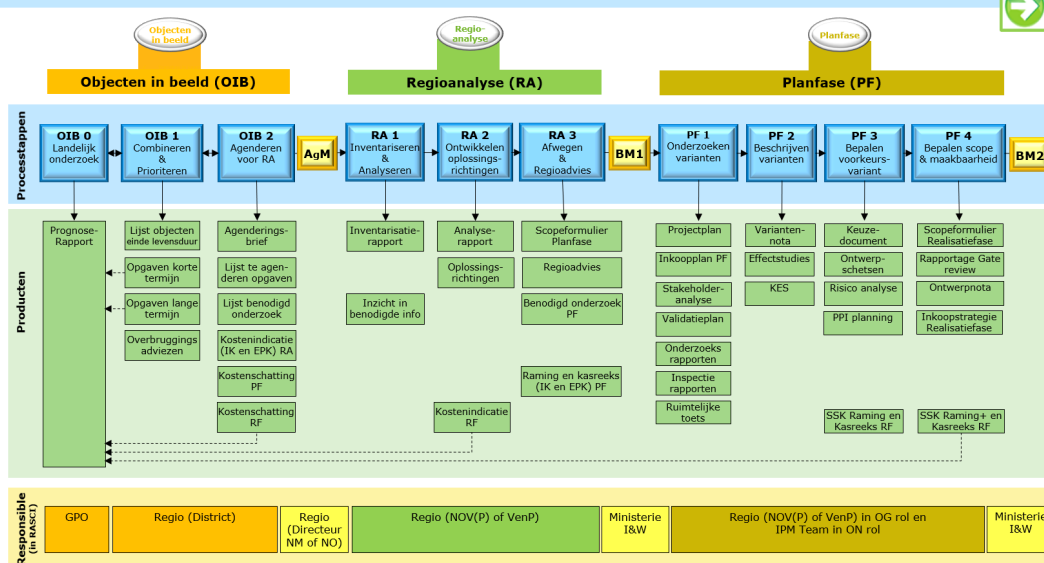
TNO

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatieproces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).

Procesketen VenR (tot aan Realisatie)



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat

Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.



Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognose rapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een kennisbijdrage binnen werkpakket 1.3 'Einde levensduur overige objecten in het Hoofdwatersysteem' uit het kennisplan 2022. Het omvat eerst de samenvatting van het deelonderzoek 'Aanvaarrisico en aanvaarbelaasting - Aanvaarscenario's met brugpijlers'.

Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door TNO, het rapport is samengesteld door MARIN. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een technisch rapport.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken *Kennisplan 2022*

Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoekslijn 'Toekomstbestendige Natte Kunstwerken' binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl

NKWK

- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.



- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het kennisplan 2022 kunt u terecht bij Martine Brinkhuis, email martine.brinkhuis@rws.nl
- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:

Migena Zagonjoli

migena.zagonjoli@deltares.nl

Dick ten Hove, voor vragen Marjolein Hermans: m.i.hermans@marin.nl

Johan van Sloten

johan.van.sloten@rws.nl

Mirjam Nelisse

mirjam.nelisse@tno.nl



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2022



Samenvatting

Einde levensduur overige objecten in het Hoofdwatersysteem

Aanvaarrisico en aanvaarbelaastingen van brugpijlers

Hieronder vindt u een kennisbijdrage van het werkpakket 'Aanvaarrisico en -belaastingen' uit het kennisplan 2022. De bijdrage – geleid door TNO en gerapporteerd door MARIN - omvat de samenvatting van het onderzoek 'Aanvaarscenario's met brugpijlers'. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een rapport.

Aanleiding en probleemstelling

Het onderzoeksprogramma Aanvaarrisico's van Kunstwerken richt zich op het ontwikkelen van kennis die bijdraagt aan verantwoorde besluitvorming over de instandhouding en vernieuwing van natte kunstwerken en bruggen.

Aanvaarrisico is een essentieel aandachtspunt bij het beoordelen van de veiligheid van bruggen en natte kunstwerken. Een aanvaring van een vaartuig met een brugpijler of een keermiddel kan leiden tot ernstige schade met hoge herstelkosten en langdurige hinder voor weg- en scheepvaartverkeer tot gevolg. Het beheersen van dit risico is daarom van groot belang voor zowel de veiligheid van het scheepvaartverkeer als voor de beschikbaarheid van en bereikbaarheid op het wegen- en vaarwegennet.

De bestaande beoordelingsmethodieken voor het beoordelen van het risico op aanvaringen en het bepalen van de gevolgen voor de constructies sluiten niet aan bij de eisen van de nieuwe Omgevingswet (2024). Ze zijn ontwikkeld op basis van deterministische uitgangspunten (het grootste schip, de hoogste vaarsnelheid, de meest ongunstige aanvaarhoek) en bieden onvoldoende onderbouwing voor een meer realistische inschatting van de risico's.

Ambitie en doelstelling

We voeren een meerjarig onderzoek uit dat als einddoel heeft het ontwikkelen van een nieuwe, op risico gebaseerde beoordelingsmethodiek. Met deze methodiek worden de scenarioanalyse, de AIS-data en de berekening van de aanvaarbelaasting van het kunstwerk, geïntegreerd in een samenhangende ontwerp- en beoordelingsmethodiek. Deze nieuwe methodiek is een (semi)probabilistische methode die werkt met kansverdelingen. Hierdoor kunnen risico's realistischer ingeschat worden.

De probabilistische methode moet het mogelijk maken om zowel voor nieuw te bouwen kunstwerken als voor bestaande kunstwerken, betere risico-inschattingen te maken. Een bijdrage van alle kennispartners (TNO, Deltares, MARIN en RWS) is essentieel om tot een succesvol resultaat te komen. Daarnaast is het van belang om externe partijen actief te betrekken, zodat de methode kan worden getoetst aan de toepasbaarheid in realistische projectsituaties. Dit versterkt niet alleen de kwaliteit en betrouwbaarheid van de methode, maar zorgt er ook voor dat zij goed aansluit bij de behoeften van de praktijk.



Onderzoeksvraag (WAT)

Eén van de deelonderzoeken betreft een inventarisatie van aanvaarscenario's. Het onderzoek moet antwoord geven op de vraag welke gebeurtenissen kunnen leiden tot een aanvaring. Gebeurtenissen zoals het falen van het roer of uitvallen van de machine van een schip, een schipper die afgeleid is of externe invloeden zoals windvlagen. De beschrijving van de scenario's moet ook inzicht geven in het effect van beheersmaatregelen zoals beschermingsconstructies.

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

Allereerst is in een brainstormsessie een inventarisatie uitgevoerd van mogelijke oorzaken van een aanvaring. Deze oorzaken zijn uitgewerkt in aanvaarscenario's die vervolgens tijdens een workshop zijn getoetst bij schippers, brugwachters, scheepvaartverkeersbegeleiders en vaarwegbeheerders om te bezien of de scenario's correct en volledig zijn. Ontbrekende scenario's of oorzaken zijn toegevoegd of aangepast, bijvoorbeeld omdat er afspraken of maatregelen genomen zijn die bepaalde oorzaken kunnen voorkomen. Uiteindelijk is er op deze manier een correct totaalbeeld ontstaan.

Tijdens de workshop is de Spijkenisserbrug als voorbeeld genomen. We verwachtten dat het voor de schippers en bedienaars makkelijker zou zijn om de scenario's te beoordelen op volledigheid en correctheid wanneer ze die op een concrete situatie uit hun dagelijkse praktijk zouden kunnen betrekken.

Onderzoeksresultaten en synthese

Aan de hand van een kwalitatieve scenario-analyse zijn de scenario's uitgewerkt in een foutenboom als een keten van gebeurtenissen die uiteindelijk eindigt bij de aanvaring van de brugpijler. De foutenboom beschrijft de causale relatie tussen de verschillende gebeurtenissen.

De scenario's en de foutenboom zijn teruggekoppeld naar de expertgroep bestaande uit schippers, brugwachters, scheepvaartverkeersbegeleiders en vaarwegbeheerders met als belangrijkste conclusie dat de scenario's een goed en volledig overzicht gaven van mogelijke aanvaarscenario's.

Evaluatie en vooruitblik

Als vervolg is in 2023 gewerkt aan een protocol voor het gebruik van AIS-data in aanvaarisicoanalyses. Hoe kunnen AIS-gegevens zodanig geanalyseerd worden dat kansverdelingen van massa en vaarsnelheid van de schepen effectief opgesteld kunnen worden? De analysestappen zijn geordend volgens een generieke datastrategie binnen de data science-cyclus, zodat de methode breed toepasbaar is (het protocol is beschikbaar op de [kennisbank](#)).

In 2024 is binnen het KpNK-programma een eerste handreiking opgesteld om te bepalen hoe vaak een aanvaring met een brugpijler voor zal komen en met welke kansverdeling van de aanvaarenergie. Dit is gedaan aan de hand van een viertal cases. Deze handreiking vormt een belangrijke stap in het kwantificeren van de gevolgen van een aanvaring.

In 2025 zijn in het kader van een leeropdracht twee van de voorgestelde methoden uit de handreiking, de methode SIRENE (ARUP-RWS) en de methode SAMSON (MARIN), toegepast op een bestaande brug (Spijkenisserbrug), met als doel deze methoden onderling te vergelijken en te valideren. Parallel daaraan is in 2025 toegewerkt naar een plan van aanpak om in de komende jaren (2026 en 2027) te komen tot een gecombineerde aanpak waarbij de scenarioanalyse, AIS-data en berekening van aanvaarenergie worden geïntegreerd in een samenhangend risicomodel voor



brugpijlers. Als onderdeel daarvan wordt ook een veiligheidsfilosofie opgesteld passend bij de eisen in de Omgevingswet voor nieuwe en bestaande kunstwerken.



Rijkswaterstaat

TNO Deltares

Aanvaarscenario's met brugpijlers

Rapport nr. : 35126-1-MO-rev.0
Datum : 16 november 2023
Versie : rev. 0
Eindrapport

Aanvaarscenario's met brugpijlers

Opdrachtgever : -

Gerapporteerd door : R.M.L. Nelisse (TNO), M. Zagonjoli (Deltares), D. ten Hove (MARIN),
J. van Sloten (RWS)

Paraaf management :

Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev. 0	16 november 2023	Definitief	-

INHOUD

PAGINA

1	INLEIDING	1
1.1	Trends en ontwikkelingen	1
1.2	Aanleiding	1
1.3	Doel	2
1.4	Aanpak	2
1.5	Scope	3
1.6	Planning	3
1.7	Leeswijzer	3
2	WERKWIJZE BIJ HET OPSTELLEN VAN DE SCENARIO'S	4
3	SCENARIO'S	5
3.1	Oorzaken	5
3.2	Beschrijving van de scenario's	6
3.2.1	Roerfout	6
3.2.2	Zuiging	7
3.2.3	Boeg- en hekgolven	8
3.2.4	Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld	8
3.2.5	Uitwijken voor een ander schip	9
3.2.6	Voortstuwing faalt	10
3.2.7	Driftend schip – schip drijft tegen de brugpijler aan	11
3.3	Foutenbomen	11
3.3.1	Topgebeurtenis	13
3.3.2	Varend schip	15
3.3.3	Roerfout	15
3.3.4	Zuiging	16
3.3.5	Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld	16
3.3.6	Uitwijken voor een ander schip	17
3.3.7	Voortstuwing faalt	18
3.4	Kansen	19
3.5	Gevolgen	19
4	AIS-ANALYSE	20
4.1	Aanvaarkans	21
4.2	Aanvaarbelasting	21
5	CONCLUSIES EN AANBEVELING	22
5.1	Conclusies	22
5.2	Aanbevelingen	22
APPENDIX 1	VERSLAG WORKSHOP AANVAARRISICO	1

SAMENVATTING

Aan de hand van een kwalitatieve scenario analyse zijn de scenario's uitgewerkt die kunnen leiden tot een aanvaring met een brugpijler. De scenario's zijn in een foutenboom uitgewerkt als een keten van gebeurtenissen die uiteindelijk eindigen bij de aanvaring van de brugpijler. De foutenboom geeft de causale relatie aan tussen de verschillende gebeurtenissen.

De scenario's en de foutenboom zijn getoetst bij een expertgroep bestaande uit schippers, brugwachters, scheepvaartverkeersbegeleiders en vaarwegbeheerders met als belangrijkste conclusie dat de scenario's een goed en volledig overzicht gaven van mogelijke aanvaarscenario's.

1 INLEIDING

Rijkswaterstaat heeft 333 bruggen en 101¹ natte kunstwerken in vaarwegen in beheer, die nu en in de toekomst de waterveiligheid garanderen en/of zorgen voor een vlotte en veilige doorvaart. De levensduur van deze “natte kunstwerken²” is beperkt en een groot aantal kunstwerken moet in de komende periode vervangen of gerenoveerd worden.

1.1 Trends en ontwikkelingen

Bij het vervangen en renoveren van een dergelijk groot aantal kunstwerken met een grote levensduur, spelen een aantal trends en ontwikkelingen een belangrijke rol die de keuzes bij vervangen en renoveren beïnvloeden. Een aantal van die trends en ontwikkelingen wordt hier genoemd:

- (Bijzondere) belastingen: in hoeverre veranderen deze belastingen in de toekomst, bijvoorbeeld door de komst van grotere schepen?
- Klimaatverandering: wat is het effect van bijvoorbeeld hogere waterafvoeren op de constructie en de risico's waaraan deze wordt blootgesteld?
- Technische ontwikkelingen: wat zijn de effecten van bijvoorbeeld smart mobility, autonoom varen en nieuwe brandstoffen op het ontwerp?

In dit onderzoek wordt de bijzondere belasting “stootbelasting door aanvaringen” beschouwd als één van de aspecten die bij een toekomstvast ontwerp dient te worden meegenomen. Dit wordt in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

1.2 Aanleiding

Schepen en snelheden zijn groter geworden, belastingen worden hoger en mogelijk zelfs zo hoog dat constructies daarop haast niet meer te ontwerpen zijn. Constructies worden dan onbetaalbaar. De huidige Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK) [2, 3, 4] beschrijft in de meest eenvoudige vorm een deterministische aanpak voor aanvaringen, uitgaande van het grootste schip met de hoogste vaarsnelheid en de meest ongunstige aanvaarhoek. De ROK geeft ruimte voor afwijking van de deterministische aanpak door middel van een probabilistische aanpak. Deze probabilistische benadering biedt een dieper inzicht in het risico op aanvaring door rekening te houden met een reeks mogelijke oorzaken, uitkomsten en hun bijbehorende waarschijnlijkheden.

Er is een groeiende behoefte aan de probabilistische aanpak, onder andere vanwege:

- het aantal bestaande objecten wat moet worden beschouwd;
- de beperkte fysieke ruimte voor aanpassingen;
- de beperkte middelen.

Er is daarom vraag naar maatwerk per object, op een gestructureerde manier.

¹ 91 sluiscomplexen en 10 stuwcomplexen (7 in de Maas, 3 in de Neder-Rijn-Lek)

² Onder natte kunstwerken worden bruggen, tunnels, sluizen, stuwen en stormvloedkeringen verstaan

Daarnaast ligt er ook een aanbeveling in het rapport *Stuwaanvaring door Benzeentanker bij Grave* van de Onderzoeksraad voor de Veiligheid van mei 2018 [21] aan de Minister van Infrastructuur en Waterstaat:

“Maak voor bruggen, sluizen en stuwen een analyse van het aanvaarrisico, inclusief een expliciete en integrale afweging tussen beschikbare maatregelen om de kans op aanvaringen te beperken. Betrek hierbij niet alleen het bestaande kader aanvaarrisico maar ook de mogelijke gevolgen van een aanvaring voor de scheepvaart en de omgeving.”

Samen is dit aanleiding om te onderzoeken of een meer probabilistische aanpak bij het ontwerpen van brugpijlers mogelijk is waarbij veel meer rekening gehouden wordt met de kans op een aanvaring en met de samenstelling, en daarmee de kansverdeling over massa, snelheid en aanvaarhoek van het passerende scheepvaarverkeer.

1.3 Doel

Met het oog op de hogere belastingen en de huidige, deterministische, aanpak voor het ontwerp van brugpijlers in de ROK, is het doel van dit onderzoek om te komen tot een (semi-) probabilistische aanpak voor het ontwerpen van brugpijlers op het risico van aanvaringen en deze aanpak te vervatten in een nieuwe versie van de ROK.

1.4 Aanpak

Om te komen tot een (semi-) probabilistische aanpak voor het ontwerpen van brugpijlers op het risico van aanvaringen en deze aanpak te vervatten in een nieuwe versie van de ROK, wordt een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) voorgesteld. De aanpak bestaat uit de volgende stappen:

1. Het nader beschrijven van de scope en de huidige werkwijze (ROK/Eurocode). Vervolgens het bestuderen van (internationale) literatuur over aanvaarrisico, met name t.a.v. welke aanvaarscenario's kunnen optreden, wat de kansen van optreden zijn en wat de gevolgen zijn in termen van aanvaarenergie. Ook de normen die eventueel internationaal reeds bestaan t.a.v. aanvaardbare risico's zijn van belang, evenals de probabilistische methoden en technieken die worden gebruikt. De literatuur bestaat tenminste uit de ROK, Eurocode EN1991-1-7, ISO10252, PIANC en reeds uitgevoerde studies door TNO, MARIN en Deltares. Ook de uitkomsten van de JCSS workshop [19] worden erbij betrokken.
2. Inventarisaties van aanvaarscenario's; welke gebeurtenissen kunnen leiden tot een aanvaring van een brugpijler? Dit kunnen technische, menselijke of externe oorzaken zijn. Bijvoorbeeld het falen van het roer van een schip, de schipper die afgeleid is of blikseminslag in het schip. Ook beheersmaatregelen zoals beschermingsconstructies kunnen invloed hebben. De scenario's (oorzaken en vervolgebeurtenissen) kunnen worden gemodelleerd in een foutenboom. Ook de scenario's die leiden tot de verschillende gevolgen worden geïnventariseerd en, indien nodig, gemodelleerd in een gebeurtenissenboom.
3. Het kwantificeren van de kansen op de gebeurtenissen die kunnen leiden tot een aanvaring van een brugpijler. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van (internationale) literatuur, de SOS database en zo nodig kunnen andere methoden worden gebruikt, zoals expert judgement en simulaties.
4. Het identificeren van de gevolgen in termen van aanvaarenergie en de kwantificering daarvan. Hierbij wordt rekening gehouden met de verdeling van het type en de snelheid van schepen. Van belang hierbij is om actuele data beschikbaar te hebben voor (een) berekening(en).
5. De volledige interactie en uiteindelijke schade bij een gegeven aanvaring wordt bepaald door de mechanische eigenschappen (massa, stijfheid, sterkte) van zowel schip als constructie. Onderdeel van deze stap is ook om de impact van een aanvaring op de constructie mee te nemen: een deel van de energie wordt geabsorbeerd door de “kreukelzone” van het schip. Het is de verwachting dat

de netto energie overdracht niet lineair toeneemt met de toename van de omvang van schepen. Hier zit ook een verschil tussen zeevaart (denk aan de bulb) en binnenvaart.

6. Op basis van de Eurocode [1] wordt een economische analyse en afweging gemaakt van het economisch acceptabele risico. Hierbij wordt de methode voorgesteld die door TNO in het onderzoek naar explosies in tunnels is ontwikkeld [20]. Deze stap resulteert in een voorstel voor een norm, c.q. doelfaalkans. Onderdeel van deze analyse is het, zo nodig, variëren van de gevolgklasse (standaard CC3). Wellicht verschillend naar het type constructie en naar het belang van de constructie.
7. Er wordt een voorstel gedaan voor een tekst voor in (een nieuwe versie van) de ROK, waarbij de nieuwe tekst ingaat op zowel de norm als de methode. De deelproducten uit de stappen 1 tot en met 6 worden gepubliceerd op de KpNK website.

1.5 Scope

De focus van dit onderzoek ligt op aanvaringen met bruggen, in het bijzonder met de pijlers van bruggen. Voor andere objecten in de vaarweg, zoals sluizen en stuwen en ook andere onderdelen van bruggen, zoals (beweegbare) brugdekken, spelen vergelijkbare uitdagingen. Deze object(del)en zijn voor dit moment expliciet uitgesloten van dit onderzoek. Verwacht wordt dat de resultaten te zijner tijd met aanpassingen ook worden gebruikt kunnen voor deze object(del)en.

Daarnaast heeft het onderzoek betrekking op het ontwerp, en dus nieuwbouw, van bruggen. Evaluatie van maatregelen, bijvoorbeeld aanpassen van de vaarwegklasse, en daardoor een wijziging in het aanvaarrisico zou in de basis mogelijk kunnen zijn met de te ontwikkelen methodiek, maar dit gebruik wordt vooralsnog niet meegenomen als uitgangspunt in dit onderzoek.

Tot slot ligt de focus van het onderzoek bij enerzijds de kans op een aanvaring en anderzijds de gevolgen in termen van schade aan de brugpijler. De schade aan het schip of de slachtoffers die (kunnen) vallen als gevolg van schade en/of instorting van de brug worden wel benoemd, maar vallen buiten de scope van dit onderzoek. Bij een volledige kwantitatieve risicoanalyse dienen deze aspecten wel meegenomen te worden, om een onderschatting van het risico te voorkomen.

1.6 Planning

In 2020 is een literatuuronderzoek gedaan om de state-of-the-art op het gebied van normen en regelgeving in kaart te brengen. In 2020, 2021 en 2022 is gewerkt aan de kwalitatieve scenarioanalyse (stap 2). Op dit moment wordt voorzien dat stappen 3, 4 grotendeels in 2023 worden uitgevoerd en dat het onderzoek met stappen 5, 6 en 7 wordt afgesloten in 2024. Een en ander afhankelijk van beschikbare budgetten en capaciteit.

1.7 Leeswijzer

Deze rapportage beschrijft de resultaten van stap 2, de kwalitatieve scenarioanalyse. Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze bij het opstellen van de scenario's. In hoofdstuk 3 zijn de scenario's en de foutenboom beschreven. In hoofdstuk 4 zijn de voorlopige conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2 WERKWIJZE BIJ HET OPSTELLEN VAN DE SCENARIO'S

Allereerst is door middel van een brainstorm een inventarisatie uitgevoerd van mogelijke oorzaken die tot een aanvaring kunnen leiden en zijn deze uitgewerkt in aanvaarscenario's. Aanvaarscenario's zijn vervolgens door middel van een workshop³ getoetst bij schippers, brugwachters, scheepvaartverkeersbegeleiders en vaarwegbeheerders, om te bezien of de scenario's correct en volledig zijn. Naar aanleiding van de workshop zijn ontbrekende scenario's of oorzaken toegevoegd. Waar scenario's niet correct waren (bijvoorbeeld omdat er afspraken of maatregelen genomen zijn die bepaalde oorzaken kunnen voorkomen), zijn scenario's aangepast, zodat er een correct en volledig totaalbeeld is ontstaan.

Er is voor gekozen om bij de toetsing van de scenario's door schippers en bedienaars de Spijkenisserbrug als voorbeeld te nemen. Het was de verwachting dat het voor de schippers en bedienaars makkelijker is om de scenario's te beoordelen op volledigheid en correctheid wanneer ze die op een concrete situatie uit hun dagelijkse praktijk kunnen betrekken. De Spijkenisserbrug kruist de Oude Maas bij Spijkenisse en bevindt zich in de N492. De brug heeft een totale lengte van 415 meter en bevat drie tussensteunpunten (pijlers) die zich in het water bevinden. Tussen de pijlers bevinden zich vaste en bewegende bruggdelen. De brug is in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 2-1: Spijkenisserbrug (bron: wegenwiki.nl)

³ Een kort verslag van de workshop is in Bijlage 1 opgenomen.

3 SCENARIO'S

In dit hoofdstuk worden de mogelijke aanvaarscenario's besproken. Eerst worden mogelijke oorzaken besproken om dit vervolgens uit te werken in aanvarings-scenario's

3.1 Oorzaken

Aan een aanvaring kunnen verschillende oorzaken of gebeurtenissen ten grondslag liggen die mede de frequentie van een scenario bepalen. Dat kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Uitwijken voor een ander schip mede veroorzaakt door miscommunicatie, taalprobleem, stroming, technisch falen (dan ook geen/kapotte/storende communicatiemiddelen), ander marifoonkanaal, etc.
- Pijler niet gezien ten gevolge van slecht zicht, nachtelijke uren, geen 'weg'bekendheid, onoplettendheid/dode hoek, na een bocht, slecht zichtbaar op radar, etc.
- Verlies van controle over de vaarrichting door hydro-meteo omstandigheden, zoals stroming en wind, of door technisch falen zoals roer vast/kapot, boegschroef kapot.
- Verlies van controle over snelheid door uitval van de voortstuwing.
- Foutieve inschatting schipper over afstand tot pijler in combinatie met bijvoorbeeld stroming of wind.
- Stuurfout door foutieve interpretatie van de situatie, weersomstandigheden of een falend roer waardoor sturen onmogelijk is.

De oorzaken kunnen leiden tot een keten van gebeurtenissen die uiteindelijk leiden tot het aanvaren van de brugpijler (het scenario). Een lijst met mogelijke oorzaken en gebeurtenissen die ergens in de keten een rol kunnen spelen is in Tabel 3-1 opgenomen.

Tabel 3-1 De oorzaken of gebeurtenissen en hun omschrijving

Oorzaak	Omschrijving/Gebeurtenis
Roer funcioneert niet meer	Door bijv. vervuiling in water raakt het roer vast en het schip onbestuurbaar
	Het roer wordt onbruikbaar door een technische storing
Boegschroef defect	
Menselijke fout	Bemanning veroorzaakt dat het schip van koers verandert, bijv. inschattingsfout van de schipper
	Inschattingsfout afstand
	Onoplettendheid/afleiding
	Stuurfout
Hydraulische omstandigheden	Door bijv. verlaagde waterstand ontstaat er zuiging
Passerende schepen	Passerende schepen veroorzaken een storing in het water en leiden ertoe dat het schip onbestuurbaar wordt
Boeg en hekgolven andere schepen	Het schip wordt uit koers geduwd door boeg- en hekgolven die veroorzaakt worden door passerende schepen
Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld	Door slecht zicht en/of onduidelijk radarbeeld kan het schip zich op een verkeerde positie bevinden
Schip defect	Door en technische fout bevindt het schip zich in een onverwachte positie
Miscommunicatie door technische storing	Het schip moet uitwijken voor een ander schip en bevindt zich in een onverwachte positie door een storing in telecommunicatie
Miscommunicatie door taalbarriere	Er ontstaat miscommunicatie door gebrekkige taalkennis die leidt naar onverwachte positie van schepen

Oorzaak	Omschrijving/Gebeurtenis
Technische fout hoofdvoortstuwung	Schip vaart met een verlaagde snelheid door een defecte voortstuwung
	Schip vaart met te hoge snelheid
Verkeersomstandigheden	Het schip moet met een verlaagde snelheid varen door verkeersomstandigheden
	Het schip moet uitwijken door verkeersomstandigheden
Slecht zicht, mist	Door slecht/zicht en/of mist wordt het schip gedwongen om met een verlaagde snelheid te varen
Manoeuvreren voor speciale operatie	Bijvoorbeeld een keermanoeuvre in de buurt van de brug die verkeerd uitgevoerd wordt
Sleeplijn of koppellijn gebroken	Sleep- of losgebroken met als resultaat een bak op drift
Waterstroming	Door sterke waterstroming vaart het schip naar de brug
Wind	Het schip wordt door sterke wind naar de brug geleid.

3.2 Beschrijving van de scenario's

De oorzaken uit de vorige paragraaf zijn uitgewerkt in diverse scenario's die kunnen leiden tot een aanvaring met een brugpijler. Deze worden hieronder beschreven. Op hoofdlijnen is er onderscheid gemaakt tussen scenario's van schepen met intacte voortstuwung, ofwel varende schepen (paragraaf 3.2.1 t/m 3.2.6) en schepen zonder (intacte) voortstuwung, ofwel driftende schepen (paragraaf 3.2.7). De scenario's worden kort beschreven gevolgd door mogelijke corrigerende acties of maatregelen en aangevuld met de kanttekeningen zoals deze uit de workshop naar voren kwamen.

Vooraf aan de beschrijving van de scenario's worden een aantal algemene opmerkingen geplaatst die tijdens de workshop met schippers naar voren kwamen:

- Door tijdsdruk in het vaarschema verlaagt de prioriteit voor veiligheid, uitmondend in bijvoorbeeld uitstel van onderhoud, minder aandacht voor reisvoorbereiding. Tijdsdruk is daarmee een factor die effect heeft op de kans van optreden van een scenario;
- Scenario's werken niet altijd op dezelfde manier door. Verschillen ontstaan door diversiteit in schepen (afmetingen, voortstuwingssystemen, samenstellingen, diepgang/belading) en diversiteit in bruggen/vaarwateren/remmingwerk. Het is van belang om de effecten van deze verschillen in de verdere uitwerking mee te nemen.
- Vaak zal het zo zijn dat een aantal scenario's bij elkaar opgeteld moet worden voordat daadwerkelijk aanvaring met een brugpijler of met de brugoverspanning plaats vindt (keten van gebeurtenissen of onderlinge afhankelijkheid van gebeurtenissen).

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat de experts van mening waren dat de scenario's zoals beschreven in de volgende paragrafen een goed en volledig overzicht gaven van aanvaarscenario's.

3.2.1 Roerfout

Scenario

Een schip vaart richting de (Spijkenisser)brug als er een probleem met het roer (roerfout) ontstaat. Het schip is daardoor onbestuurbaar, raakt van de koers af en vaart tegen de brugpijler aan. Er ontstaat een frontale aanvaring of aanvaring onder een kleine hoek tegen de zijkant van de pijler. De roerfout kan het gevolg zijn van troep in het roer (wrakhout bijvoorbeeld), van een technische fout (een mankement aan het roer) of een menselijke fout (een stuurfout van de schipper).

Correcties

In het laatste geval (stuurfout) kan de schipper de stuurfout corrigeren door bij te sturen. Bij troep in het roer en een technische fout kan de schipper niet corrigeren met het roer, maar wel de snelheid uit het schip halen door achteruit te slaan en/of het anker te laten vallen.

Kanttekeningen

De oorzaken die kunnen leiden tot een roerfout of stuurfout zijn onafhankelijk. Iedere oorzaak kan op zichzelf leiden tot een aanvaring. De oorzaak van troep in het roer is onwaarschijnlijk (kleine kans). Problemen ontstaan eerder door troep in de schroef, waarbij dan wel weer de druk op het roer weg kan vallen en het schip alsnog onbestuurbaar wordt. Technisch falen van de stuurinrichting is schipafhankelijk en is bijvoorbeeld afhankelijk van de beschikbaarheid van een noodstuurinrichting en de technische staat. Vanuit de expert groep wordt veel nadruk gelegd op menselijke fouten, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen “bewuste” fouten en “onbewuste” fouten. Bij het laatste wordt bijvoorbeeld onwelwording genoemd, waardoor een mens uitvalt en daardoor niet meer kan sturen. Als roeruitval optreedt door technisch falen, dan is menselijke handelen van invloed om het ten goede te keren of juist niet. Belangrijke aspecten en afhankelijkheden die een rol spelen bij het kunnen optreden van menselijke fouten zijn:

- Afleiding (teveel taken, privé)
- Slecht zicht (weer, verlichting)
- Competentie en ervaring
- Plaatselijk onbekend
- Mentale/lichamelijke fitheid
- Stress/tijdsdruk
- Andere scheepvaart (ook recreatievaart)
- Onduidelijke/geen aanwijzingen
- Gebrekkige informatie (ENC, ...)
- Communicatie (taal/duidelijkheid)
- Bedieningsfout (brugwachter)
- Stroming/wind/...
- Afwijkende situatie, bv. door werkzaamheden
- Point of no return, te hoog/laag over wal
- Onderbemanning
- Onderkwalificatie
- Motivatie/desinteresse
- Rusttijden wet/arbo omstandigheden
- Onbekendheid (onderlinge of lokale) regels

Deze aspecten kunnen allemaal de kans of frequentie van voorkomen beïnvloeden. Bij menselijke fouten zou nog een onderverdeling gemaakt kunnen worden naar (gebrek aan) competenties dan wel omstandigheden (slecht zicht, andere scheepvaart) als oorzaken voor de menselijke fout. In veel gevallen zal er echter sprake zijn van een combinatie van aspecten waardoor een onderscheid niet altijd goed aan te brengen is. De uitsplitsing wordt in de foutenboom buiten beschouwing gelaten.

3.2.2 Zuiging

Scenario

Een schip vaart richting de Spijkenissebrug als het door zuiging van koers raakt cq. onbestuurbaar wordt. Daardoor vaart het schip frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan. De zuiging kan ontstaan door hydraulische omstandigheden of door een passerend schip.

Correcties

Als een schipper bewust is dat zuiging op kan treden en hij er ook alert op is, kan hij de effecten van zuiging opvangen en corrigeren. Wel afhankelijk van de afstand tot de brug, tijdig herkennen van de effecten en de beschikbare/benodigde tijd om te kunnen corrigeren

Kanttekeningen

Zuiging kan als zelfstandige oorzaak tot aanvaringen leiden, maar ook in combinatie met menselijk falen als het onvoldoende onderkend wordt en er niet adequaat gereageerd wordt. De zuiging treedt op bij asymmetrisch passeren door de brug en/of ontmoeten met andere schepen in de brugopening. Een zijdelings aanvaring is dan meer waarschijnlijk dan een frontale aanvaring. Als bij het ontwerp van brugpijlers er voor gezorgd is dat de pijlers voldoende open zijn, b.v. losse palen in plaats van één forse pijler dan is er minder zuiging. De mate van de zuiging is afhankelijk van de rompvorm en type aandrijving, beladingsgraad en vaarsnelheid. Geen kopschroef hebben of er geen gebruik van maken vergroot de kans op aanvaringen ten gevolge van zuiging. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de kopschroef alleen effectief ingezet kan worden bij lege schepen. Tenslotte wordt nog opgemerkt dat stroming en effecten van een spuikanaal de mate van zuiging nog kunnen versterken.

3.2.3 Boeg- en hekgolven

Scenario

Een schip vaart richting de Spijkenissebrug als het door boeg- of hekgolven van een ander schip van koers raakt of onbestuurbaar wordt. Daardoor vaart het schip frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan. Het probleem ontstaat door een passerend schip.

Correcties

Als de effecten tijdig gesignaleerd worden kan een schipper corrigeren, dan wel de effecten opvangen.

Kanttekeningen

Door de beroepsvaart en zeevaart worden boeggolven van andere schepen niet als hinderlijk ervaren. Andere kleine schepen, zoals recreatievaart kunnen wel last hebben van boeg- en hekgolven. De impact van een aanvaring is dan veel minder.

De conclusie is dat boeg- en hekgolven kunnen vervallen als oorzaak voor het uit koers raken van een schip. Het scenario wordt in de foutenboom (3.3) verder buiten beschouwing gelaten. Boeg en hekgolven kunnen wel leiden tot kabelbreuk en als gevolg een losgeslagen duwbak. Een losgeslagen bak kan vervolgens tegen een pijler driften (zie 3.2.7).

3.2.4 Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld

Scenario

Een schip vaart richting de Spijkenissebrug als het geen goed zicht of een onduidelijk radarbeeld op de brug heeft. Daardoor kiest de schipper de verkeerde koers en vaart frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan. Het slechte zicht kan ontstaan door weersinvloeden zoals mist of regen. Het onduidelijke radarbeeld kan ook ontstaan door kapotte of storende apparatuur of een foutieve interpretatie van het radarbeeld.

Correctie

De schipper corrigeert niet omdat hij zich niet bewust is van de foute koers, behalve wellicht op zeer korte afstand van de pijler. In het laatste geval ontbreekt de tijd om nog te corrigeren.

Kanttekeningen

Naast technisch falen of menselijk falen kunnen ook externe oorzaken, zoals hoogspanningslijnen of golven, leiden tot een foutief of onduidelijk radarbeeld. Er wordt op gewezen dat er ook andere oorzaken kunnen zijn die kort voor de brug kunnen leiden tot een verkeerde interpretatie en foutieve koers. Belangrijkste voorbeeld hiervan is wijziging van een doorvaartopening in verband met nieuwbouw,

verbouw of werkzaamheden. Nautische verlichting op een brug en verlichte pijlers, is handig met oriënteren, maar niet altijd aanwezig. Ook kunnen radarreflectoren op pijlers als mitigerende maatregel ingezet worden om de kans op een foutieve koers te beperken. De kans op een foutieve koers wordt verder beïnvloed door:

- lokale bekendheid
- opleidingsniveau van de schipper
- meerdere bruggen achter elkaar
- achtergrond vervuiling (hinderlijke achtergrond verlichting)

3.2.5 Uitwijken voor een ander schip

Scenario

Een schip vaart richting de (Spijkenisser)brug als het plotseling moet uitwijken voor een ander schip dat op een onverwachte positie is of op een onverwachte koers tegemoet komt. Oorzaken kunnen bijvoorbeeld zijn doordat de voortstuwing of het roer van het tegemoetkomende schip faalt of doordat op basis van (mis)communicatie een andere locatie werd verwacht. Het eigen schip raakt hierdoor van koers en vaart daardoor frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan.

Correcties

Als een schipper moet of kan kiezen tussen een aanvaring met een ander schip of met een brugpijler, kiest hij meestal voor de pijler. Omdat een schipper al heel alert is omdat hij moet uitwijken voor een ander schip, zal hij de beste maatregelen kiezen. Een extra correctie daar bovenop wordt niet voorzien.

Kanttekeningen

Onder de correctiemaatregelen werd benoemd dat als de schipper moet kiezen tussen een aanvaring met een ander schip of een aanvaring met een brugpijler, de schipper dan vaker zal kiezen voor de aanvaring met de brugpijler. De feedback daarop was tweeledig:

- Als er nog iets te kiezen is, dan kan sowieso een aanvaring ook met de brugpijler worden voorkomen;
- De meeste schippers geven aan in een dergelijk scenario inderdaad te kiezen voor het voorkomen van een aanvaring met het ander schip. Argumenten: (1) Je wil de collega geen schade toebrengen en (2) op het ander schip zouden ook mensen gewond kunnen raken, of erger.

Met betrekking tot miscommunicatie wordt opgemerkt dat dit breder opgevat moet worden:

- Naast de genoemde oorzaken “technische storing” en “taalbarrière” zijn er nog meer oorzaken die genoemd kunnen worden die allemaal onder miscommunicatie vallen:
 - Oproepen/uitluisteren op het verkeerde kanaal;
 - Onduidelijke plaatsaanduidingen in de communicatie, alleen te begrijpen voor schippers met lokale kennis;
 - Geen communicatie
 - Communicatie te laat
- De “technische storing” kan ook onopgemerkt blijven. We nemen altijd maar aan dat alles werkt, bv dat “onze” oproepen door anderen worden gehoord, terwijl de “fout” bij het eigen schip ligt. We verwachten ook niet altijd antwoord, terwijl dat wel de enige manier is om zeker te weten dat berichten zijn ontvangen.
- Afhankelijk van de situatie kan een brugpassage leiden tot het doen van veel handelingen tegelijk. Die verhoogde taakbelasting kan de oorzaak zijn van het uitblijven of onvoldoende uitvoeren van communicatie, in situaties waarin dat juist niet zonder kan.

Reden voor uitwijken kan technisch falen of een communicatiefout zijn, maar er kunnen meerdere oorzaken benoemd worden die ieder op zich tot een uitwijkfout kunnen leiden:

- De regels niet kennen (vaak in verband gebracht met recreatievaart);
- Geen vaarinzicht/gebrek aan ervaring (vaak in verband gebracht met recreatievaart);
- Ondeugdelijke positiebepaling (vaak in verband gebracht met recreatievaart);
- Verwarrende/ondeugdelijke markeringen (borden/lichten/radarreflectoren/peilschalen) op de brug waardoor het andere schip plotseling uit moeten wijken;
- Brug gaat op het laatste moment niet open voor het andere schip waardoor het andere schip uit moet wijken.

3.2.6 Voortstuwing faalt

Scenario

Een schip vaart richting de (Spijkenisser)brug als de voortstuwing van het schip faalt. Afhankelijk van stroming of golfslag raakt het schip hierdoor uit koers en vaart frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan.

Correctie

De schipper heeft anders dan roerbeweging geen mogelijkheden tot correctie, tenzij de voortstuwing zich herstelt. De schipper kan ook een anker gebruiken. In een aantal gevallen wordt het roer aangedreven door de motor die ook de voortstuwing verzorgt. Uitval van de voortstuwing betekent dan ook uitval van het roer.

Kantttekeningen

Participanten vroegen zich af om welke aandrijving het dan gaat. Gaat het dan om de hoofdvoortstuwing (en bij dubbelschroef-schepen, allebei de hoofdvoortstuwings) of ook om de boegschroef/ boegstraal etc. Dat maakt voor het scenario verschil voor het handelingsperspectief van de schipper/stuurman. Meeste schepen hebben aparte aandrijving voor boegschroeven, kans dat alles uitvalt is niet zo groot en de boegschroeven blijven de beschikbaar om te manoeuvreren. Vervuilde brandstof is de belangrijkste reden voor uitval.

Voor het handelingsperspectief zijn de omstandigheden bepalend:

Afstand tot de brug op het moment van de storing;

- Weersomstandigheden
- Stroomrichting
- Stroomsterkte
- Type schip
- Ervaring
- Overige scheepvaart

Meest genoemd als belangrijke factor is de stroomrichting. Voorstroms is het handelingsperspectief het laagst, tegenstroms heeft het schip langer vaart door het water waardoor het schip met roer en eventueel boegschroef/boegstraal nog wel naar de wal te manoeuvreren is. Daarbij heeft de stroom een remmende werking op het schip.

Voorstroms blijft vaak een anker als enige optie over, maar dat is in geval van een boeganker in voorstroomse scenario's niet zonder gevaar. Het risico op dwarsvallen voor de brugpijlers is dan veel groter. Juist dat dwarsvallen tegen de pijlers moet worden voorkomen, omdat de kans op schade of

zelfs kapseizen het grootst is. Het schip zou bijvoorbeeld kunnen knikken. Zelfs als dat het hele lichte mate gebeurt, levert dat al enorme schade op.

Schippers geven dan ook aan dat als er niet tijdig afgestopt kan worden voor de brug, de belangrijkste actie is om het schip dan toch maar gestrekt tussen de pijlers door te krijgen. Dat levert dan (substantiële) schade op aan bijvoorbeeld het stuurhuis (als dat in aanvaring komt met de brug), maar dat is altijd nog “beter” dan knikken.

De kans op een dergelijke storing is niet zo groot. Sommige schippers hebben het nog nooit meegemaakt, anderen een enkele keer. In geen van de gevallen had dat onder de participanten geleid tot een aanvaring met een kunstwerk of met een ander schip. De aanwezigheid van andere schip was voor één participant de redding. Dat schip kon zijn schip langs zij nemen totdat de storing was verholpen.

3.2.7 Driftend schip – schip drijft tegen de brugpijler aan

Scenario

Een schip beweegt met een lage snelheid ongecontroleerd richting de (Spijkenisser)brug in combinatie met een stevige wind óf flinke stroming. Het schip raakt daardoor uit koers en drijft frontaal of zijdelings tegen de brugpijler. Het verlies aan controle kan als oorzaak hebben een technisch probleem met de aandrijving, verkeersomstandigheden, manoeuvreren voor een speciale operatie (bijvoorbeeld keren) of gebroken lijnen of koppeldraden wanneer het schip (of bak) wordt gesleept of losbreekt uit een duweenheid.

Correctie

De schipper kan, wanneer de techniek en de ruimte op het water dat toelaat, hard achteruitslaan om een aanvaring te voorkomen. Wanneer er een technisch probleem is met de aandrijving is niet mogelijk zijn.

Kantttekeningen

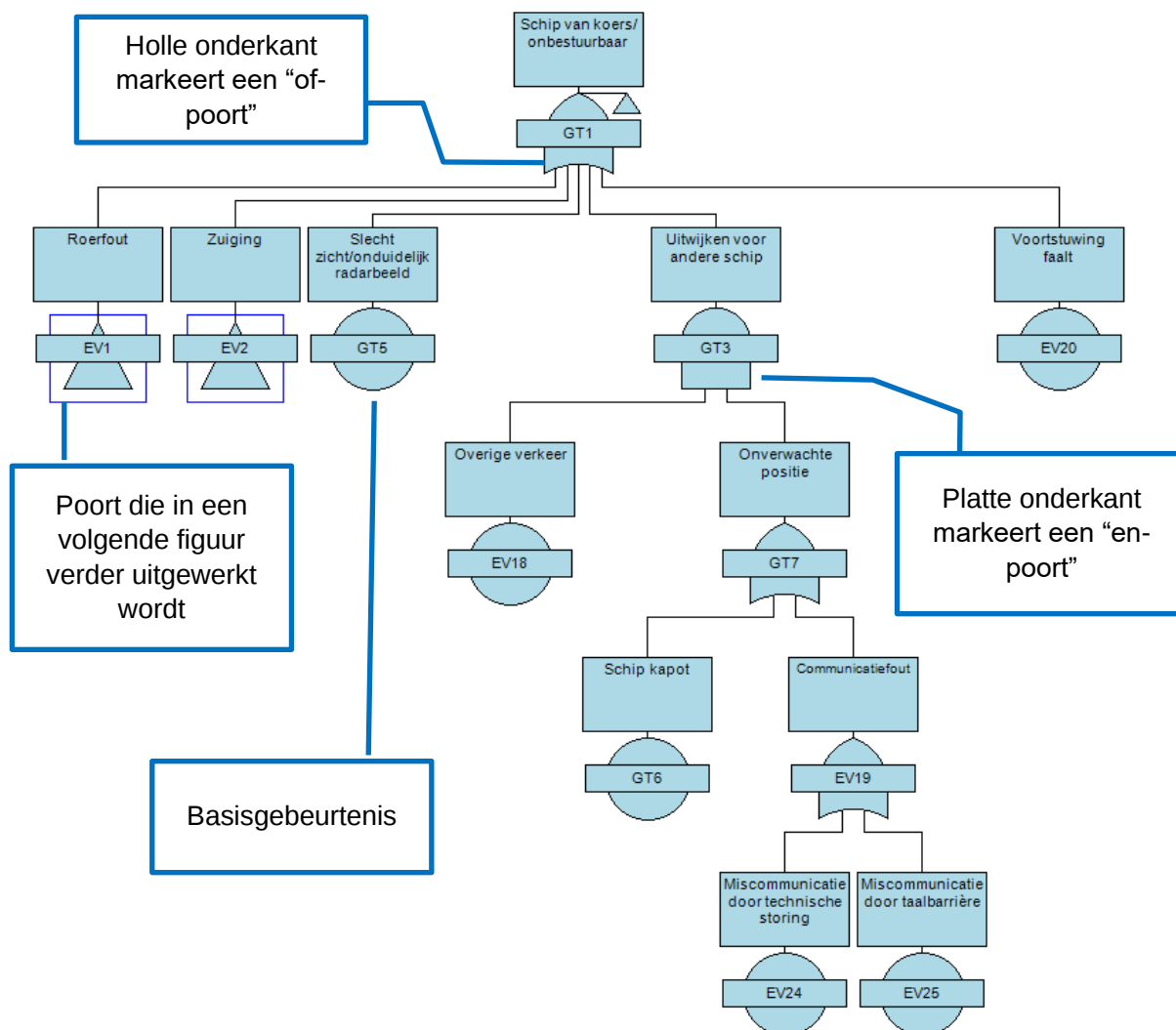
Het gaat altijd om de combinatie van een (ongecontroleerd) schip en hydro-meteo omstandigheden die het schip richting een brug drijven. Als extra oorzaak wordt een onverwachte storing van de brug genoemd (brug gaat niet open). Tijdig afstoppen lukt dan niet meer en schip beweegt eventueel gedreven door stroom en wind richting brug. Afhankelijk van de omstandigheden kan de aanvaarsnelheid dan nog hoog zijn, tot 10 km/u..

3.3 Foutenbomen

De scenario's uit de vorige paragraaf zijn uitgewerkt in een foutenboom. In de foutenboom kunnen o.a. kansen van optreden maar bijvoorbeeld ook reparatietijden of andere relevante factoren worden gemodelleerd. De foutenboom geeft de causale relatie aan tussen de verschillende gebeurtenissen die tot een aanvaring kunnen leiden en is de modellering van de scenario's zoals beschreven in paragraaf 3.2 in combinatie met de oorzaken benoemd in paragraaf 3.1.

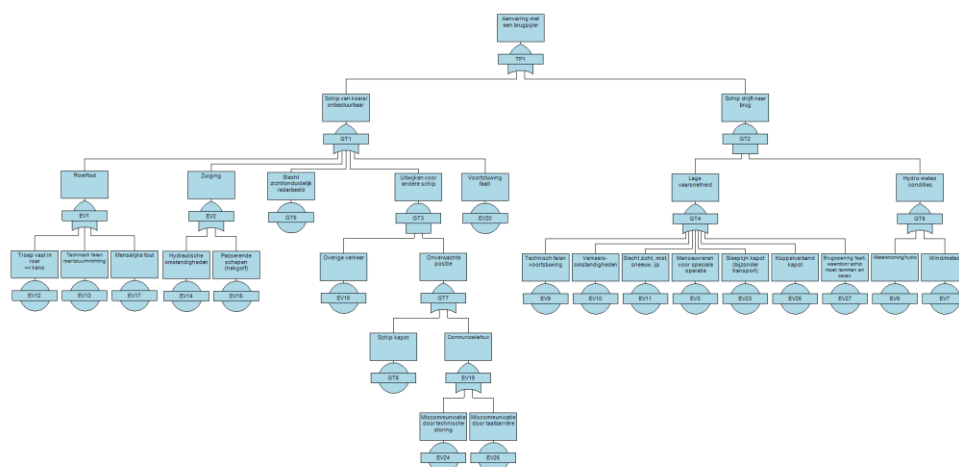
In de onderstaande figuur worden de verschillende symbolen in de foutenboom kort toegelicht:

- De holle onderkant markeert een “of-poort”, d.w.z. één van de onderliggende gebeurtenissen, b.v. roerfout of zuiging, kan leiden tot de bovenliggende gebeurtenis “Schip van koers/onbestuurbaar”;
- De platte onderkant markeert een “en-poort”. Beide gebeurtenissen, in dit geval “Overig verkeer” en een “Onverwachte positie” moeten optreden om te leiden tot “Uitwijken voor een ander schip”;
- Een driehoek geeft aan dat de gebeurtenis nog verder uitgewerkt wordt in onderliggende oorzaken;
- Een cirkel markeert een basisgebeurtenis.



Figuur 3-1 Toelichting op de foutenboom

Figuur 3-2 geeft een overzicht van de totale foutenboom die uiteindelijk leidt tot de topgebeurtenis "Aanvaring met een brugpijler".

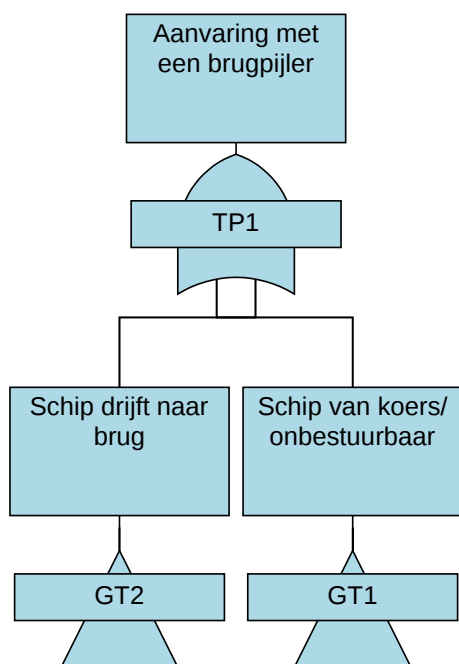


Figuur 3-2 Overzicht van de totale foutenboom.

De totale boom is te groot voor een leesbare weergave en wordt daarom in kleinere delen met steeds meer detail weergegeven in de paragrafen en figuren hierna.

3.3.1 Topgebeurtenis

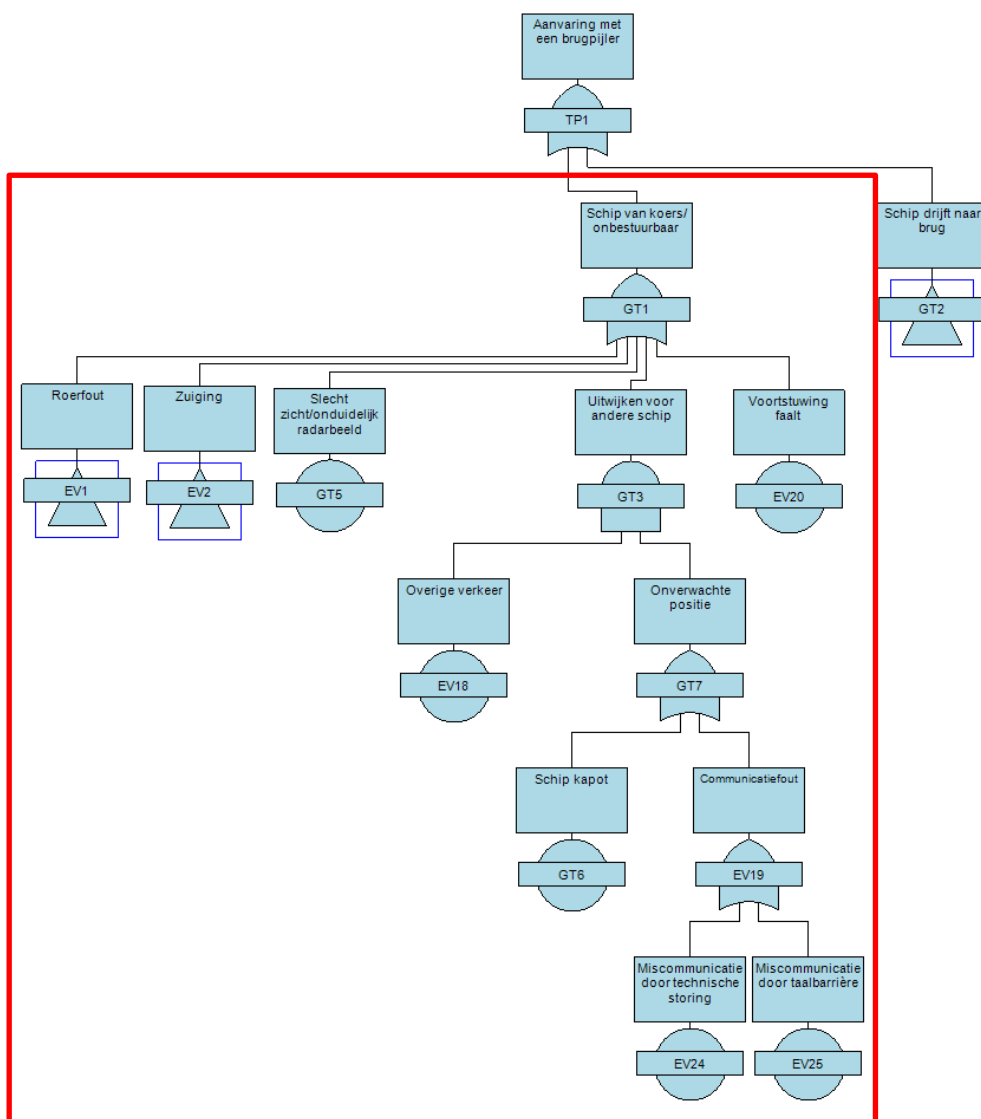
De topgebeurtenis is de ongewenste gebeurtenis die in de risicoanalyse wordt beschouwd op de kans van optreden en de mogelijke gevolgen. Door middel van de foutenboom wordt in beeld gebracht welke keten van gebeurtenissen of oorzaken uiteindelijk kunnen leiden tot de topgebeurtenis. Wanneer gebruik wordt gemaakt van het “vlinderdasmodel”, waarin de linker vleugel wordt gevormd door de foutenboom of gebeurtenissenboom en de rechter vleugel door de keten van gevolgen, wordt de knoop weergegeven door de ongewenste gebeurtenis. Ook wel topgebeurtenis in de foutenboom of startgebeurtenis in de gebeurtenissenboom genoemd. De topgebeurtenis is in dit geval de aanvaring met de brugpijler. Twee scenario's kunnen als onderliggende hoofdgebeurtenissen leiden tot een aanvaring met een brugpijler: een driftend schip dat gedreven door wind en/of stroom richting brug drijft en een varende (met intacte voortstuwing) schip dat van koers is geraakt of onbestuurbaar is geworden en richting de pijler vaart (Figuur 3-3).



Figuur 3-3 Topgebeurtenis en twee onderliggende oorzaken

De twee onderliggende oorzaken kunnen verder uitgewerkt worden naar oorzaken lager in de keten. Deze zijn beschreven in de paragrafen 3.3.2 tot en met 3.3.7 voor het aangedreven schip en paragraaf 3.3.8 voor het driftende schip.

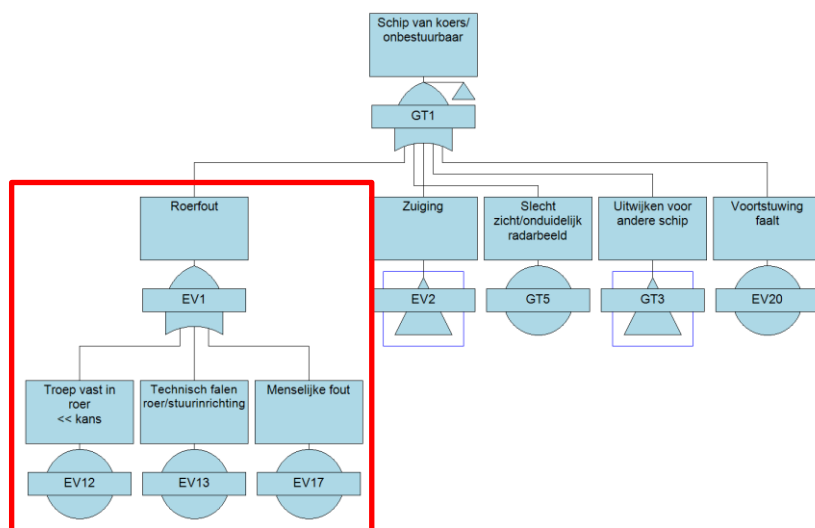
3.3.2 Varend schip



Figuur 3-4 Varend schip

1.7.1 Roerfout

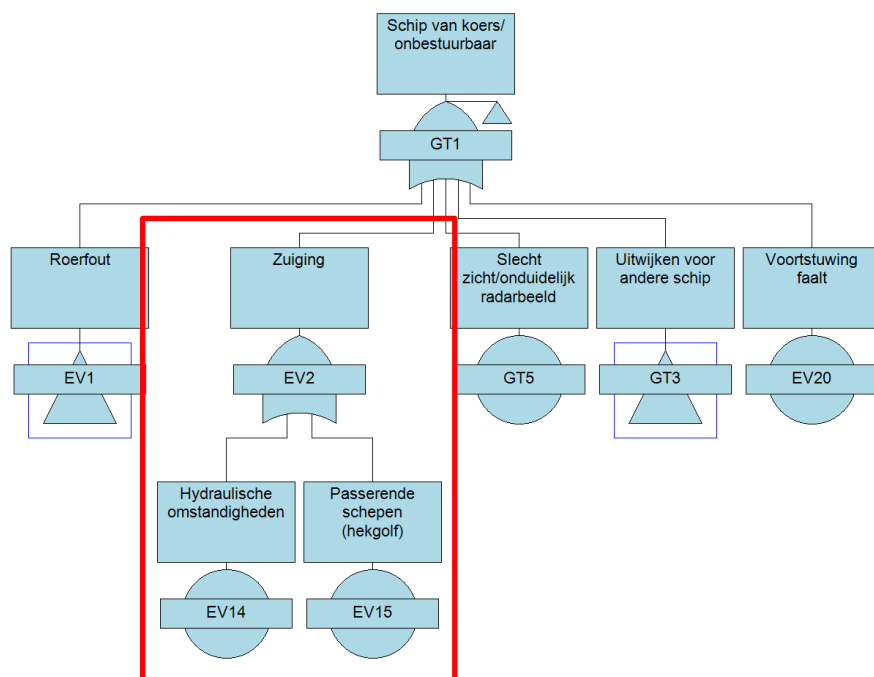
Een schip vaart richting de doorvaartopening van de brug als er een probleem met het roer ontstaat. Het schip is daardoor onbestuurbaar, raakt van de koers af richting de pijler en vaart tegen de brugpijler aan. Gevolg is een frontale aanvaring of aanvaring onder een kleine hoek tegen de zijkant van de pijler. De roerfout kan het gevolg zijn van troep in het roer (wrakhout bijvoorbeeld), van een technische fout (een mankement aan het roer) of een menselijke fout (een stuurfout van de schipper).



Figuur 3-5 Roerfout

3.3.3 Zuiging

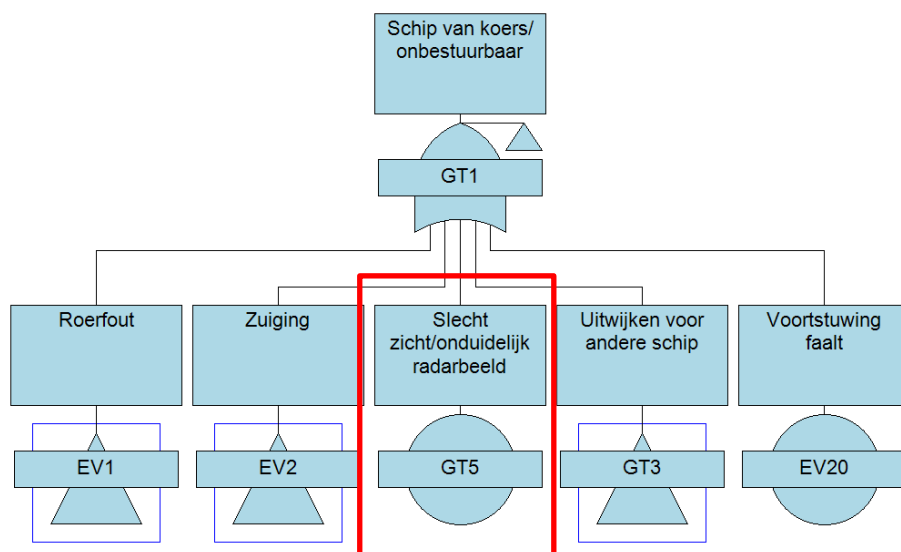
Een schip vaart in de brugopening als het door zuiging van koers raakt cq. onbestuurbaar wordt. Het effect van zuiging treedt op bij asymmetrische passage door de brugopening. Het gevolg is in de meeste gevallen een aanvaring onder een kleine hoek met de zijkant van de brugpijler of een schampen tegen de pijler. De zuiging kan ontstaan door hydraulische omstandigheden of door een passerend schip.



Figuur 3-6 Zuiging

3.3.4 Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld

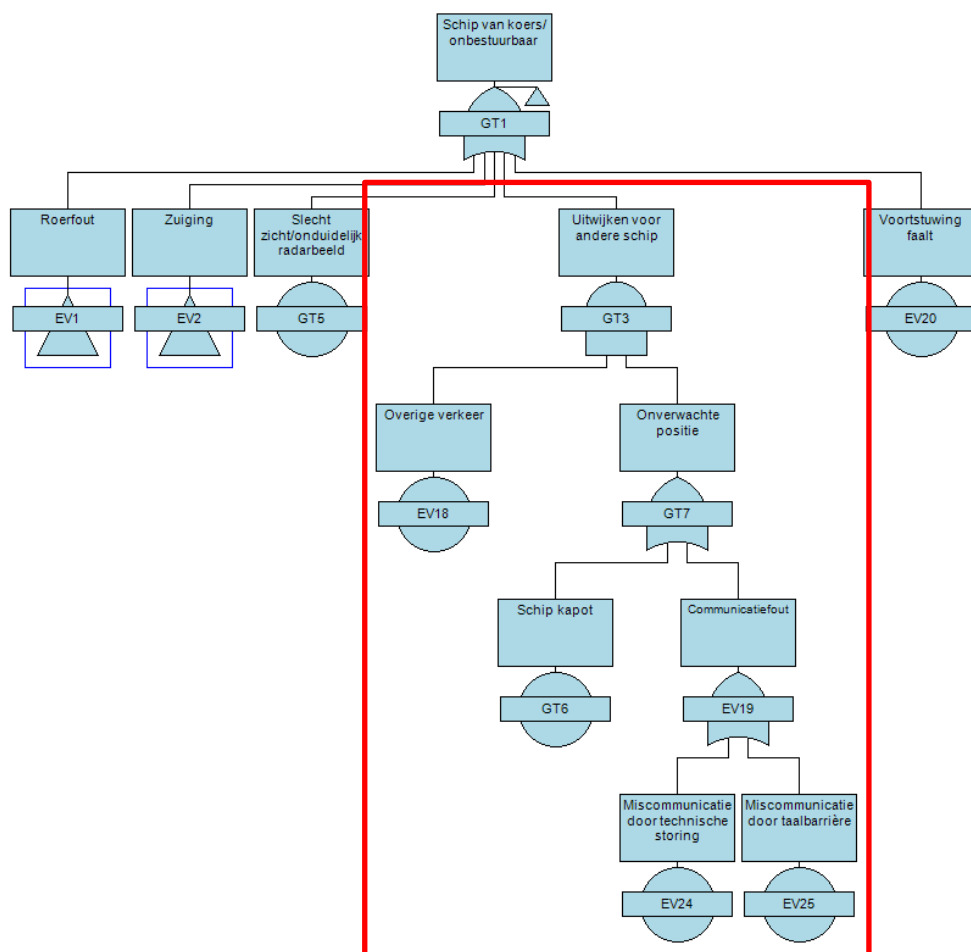
Een schip vaart richting de brug als het geen goed zicht of een onduidelijk radarbeeld op de brug heeft, waardoor de doorvaartopening onvoldoende zichtbaar is. Daardoor kiest de schipper de verkeerde koers en vaart frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan. Het slechte zicht kan ontstaan door weersinvloeden zoals mist of regen. Het onduidelijke radarbeeld kan ook ontstaan door kapotte of storende apparatuur of een foutieve interpretatie van het radarbeeld.



Figuur 3-7 Slecht zicht/onduidelijk radarbeeld

3.3.5 Uitwijken voor een ander schip

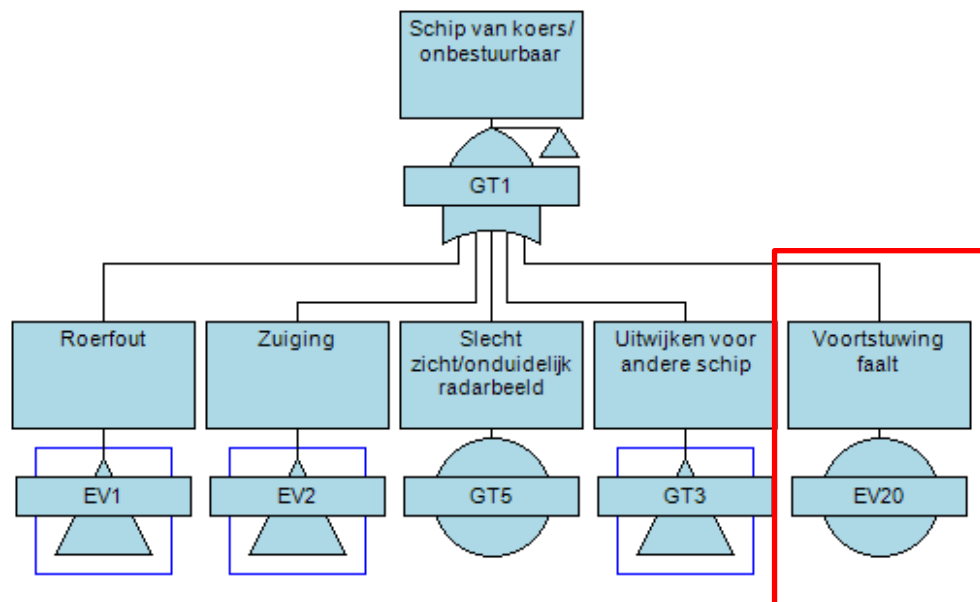
Een schip vaart richting de brug als het plotseling moet uitwijken voor een ander schip dat op een onverwachte positie is of op een onverwachte koers tegemoet komt. Oorzaken kunnen bijvoorbeeld zijn doordat de voortstuwing of het roer van het tegemoetkomende schip faalt ("schip kapot") of doordat op basis van (mis)communicatie een andere locatie werd verwacht. Het eigen schip raakt hierdoor van koers en vaart daardoor frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan.



Figuur 3-8 uitwijken voor een ander schip

3.3.6 Voortstuwing faalt

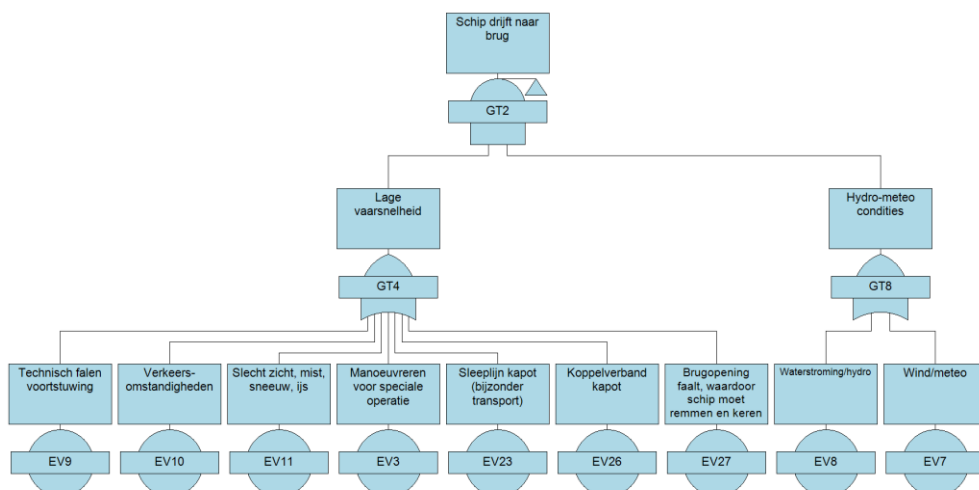
Een schip vaart richting de brug als de voortstuwing van het schip faalt. Afhankelijk van de hydro-meteo condities (wind, stroming of golfslag) raakt het schip hierdoor uit koers en vaart frontaal of zijdelings tegen de brugpijler aan.



Figuur 3-9 Aandrijving kapot

3.3.7 Driftend schip

Een schip drijft ongecontroleerd richting de brug. Het verlies aan controle kan als oorzaak hebben een technisch probleem met de aandrijving, verkeers-omstandigheden, manoeuvreren voor een speciale operatie (bijvoorbeeld keren) of gebroken lijnen of koppeldraden wanneer het schip wordt gesleept of losbreekt uit een duweenheid (losgebroken bak).



Figuur 3-10 Driftend schip

Als toelichting kan nog opgemerkt worden dat voor de gebeurtenis van een schip dat richting brug drift altijd sprake moet zijn van een combinatie van een lage vaarsnelheid en ongunstige hydro-meteo condities.

3.4 Kansen

De vervolgstap is het kwantificeren van de kansen op de gebeurtenissen die kunnen leiden tot een aanvaring van een brugpijler. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van (internationale) literatuur, de SOS database en zo nodig kunnen andere methoden worden gebruikt, zoals expert judgement, AIS analyses (zie hoofdstuk 4) en simulaties.

Deels kan dit ingevuld worden aan de hand van frequentieanalyse (hoe vaak komt een bepaalde gebeurtenis voor gegeven het aantal passages of afgelegde kilometers) af te leiden uit ongevalstatistiek en verkeersgegevens.

Deels kan dit ingevuld worden door het afleiden van verdelingsfuncties aan de hand van verdiepende risicoanalyses.

Bij het uitwerken van de kansen van optreden (vervolg 2023-2024) is het van belang om ook rekening te houden met de volgende aspecten:

- Invloed van nieuwe technieken, b.v. kinderziektes;
- nieuwe brandstoffen;
- handhaving.

3.5 Gevolgen

De andere factor bij het beoordelen van de risico's is het gevolg van het optreden van een aanvaring. Daarbij kan men zowel kijken naar de gevolgen voor het schip als de gevolgen voor het kunstwerk. De focus van dit onderzoek ligt bij de gevolgen voor de brugpijler, waarbij het om de directe gevolgen van een aanvaring gaat. Indirecte gevolgen van de aanvaring, zoals het ontstaan van brand of explosie of het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, worden buiten beschouwing gelaten. De uitwerking van de gevolgen is gepland voor 2024.

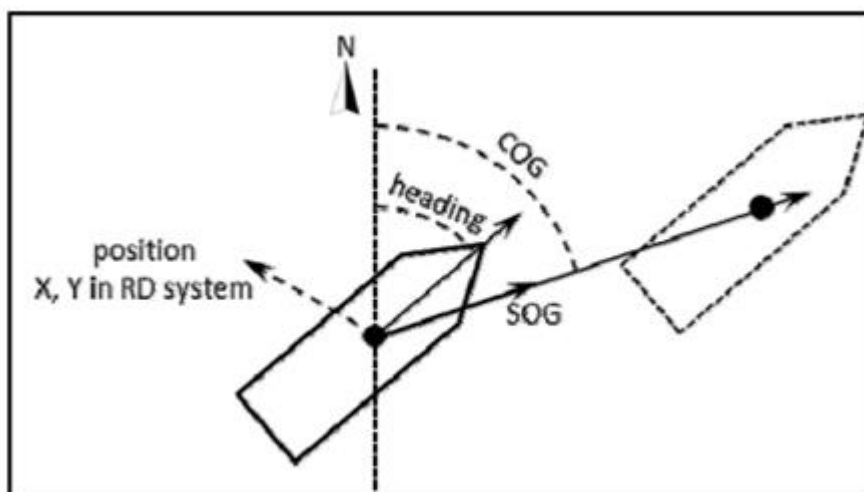
4 AIS-ANALYSE

In dit hoofdstuk beschrijven we de parameters die afgeleid kunnen worden vanuit de Automatic Identification System (AIS) data. Het AIS is een transpondersysteem dat is ontworpen om informatie uit te wisselen tussen schepen en walstations. Tegenwoordig zijn alle schepen langer dan 20 m uitgerust met een AIS-transponder. Hoewel dit systeem oorspronkelijk is ontwikkeld om aanvaringen te voorkomen, is het ook een waardevolle bron van informatie over het gedrag van schepen. Op deze manier wordt de verkeerssituatie realistisch weergegeven met de informatie over de daadwerkelijk door schepen gevaren routes. Op basis van de data kan een verkeersstatistiek gemaakt worden van schepen die de waterweg passeren.

De AIS-gegevens⁴ bevatten drie soorten informatie:

- Statische informatie: Maritime Mobile Service Identity (MMSI)-nummer van het schip (indien de AIS-gegevens niet zijn geanonimiseerd), scheepstype, lengte, breedte, enz. De statische informatie wordt echter niet altijd door de schipper verstrekt; behalve het MMSI-nummer, ontbreekt vaak de informatie over het scheepstype of de kenmerken van het schip of krijgt een "0"-waarde.
- Dynamische informatie: UTC-tijd, scheepspositie in breedte- en lengtegraad, snelheid over de grond (SOG), koers over de grond (COG), koers, etc. De exacte positie voor elk schip hangt af van de locatie van de zender die aan boord is geïnstalleerd. SOG en COG zijn relatief aanwezig in de data. Koers is een zeer belangrijk kenmerk dat de richting aangeeft waarin een vaartuig op een bepaald moment wijst, maar het wordt niet altijd ingevuld in de administratie.
- Reis gerelateerde informatie zoals diepgang. Deze informatie wordt niet altijd verstrekt door de schipper en ontbreekt dus vaak.

De attributen om scheepsgedrag te beschrijven (positie, SOG, COG en koers) worden geïllustreerd in Figuur 4-1. Niet alle informatie wordt verstrekt of is correct als het gaat om de AIS-gegevens, met name de informatie die gebruikersinvoer vereist, kan fouten, standaardwaarden of blanco waarden bevatten. Om de ontbrekende AIS-gegevens te herstellen, wordt een interpolatiemethode toegepast op basis van de AIS-gegevens die beschikbaar zijn voor en na het ontbrekende tijdsinterval. Bij de analyse worden de volgende variabelen gebruikt: tijdreeks, breedtegraad, lengtegraad, COG, SOG, HDG om de positie en de snelheid van het schip te bepalen.



Figuur 4-1 Definitie van variabelen.

⁴ In geanonimiseerde AIS-gegevens zijn de details die naar een specifiek schip kunnen leiden, geanonimiseerd.

4.1 Aanvaarkans

Het aantal passerende schepen per jaar is relevante informatie om het verwachte aantal aanvaringen per jaar af te schatten.

In eerste instantie creëren we een netwerk van schakels, waarin het aantal bewegingen per jaar voor verschillende scheepstypes en -afmetingen wordt beschreven. Dit netwerk is gebaseerd op scheepsreizen van zee- en binnenvaartschepen. Vervolgens wordt er gefilterd om onderscheid te maken tussen de scheepsreizen van zee- en binnenvaartschepen. De focus van het project ligt op de binnenvaartschepen.



Figuur 4-2 AIS-gegevens, die de werkelijke routes van schepen laten zien.

4.2 Aanvaarbelasting

AIS gegevens kunnen extra informatie leveren over de vaarsnelheden in de nabijheid van een brugpijler. In principe omvat een AIS record de Koers over de grond (COG) en Snelheid over de grond (SOG) velden. De COG waarde kan helpen bij het bepalen van de richting van schepen, maar is zelden verstrekt en in de meeste gevallen ingesteld op 0 of 360. Hetzelfde geldt voor SOG, waarbij slechts een klein percentage van de datapunten betrouwbare informatie bevat. Echter, het is mogelijk om de locatie- en tijdsgegevens te gebruiken om de SOG en COG te bepalen. Op basis van de AIS gegevens kan dan de gemiddelde vaarsnelheid tussen verschillende datapuntlocaties berekend worden voor verschillende scheepstypes.

De informatie van de massa van de schepen wordt overgenomen of gecorrigeerd op basis van de AIS-gegevens die beschikbaar zijn.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELING

5.1 Conclusies

Aan de hand van een kwalitatieve scenario analyse zijn de scenario's uitgewerkt die kunnen leiden tot een aanvaring met een brugpijler. De scenario's zijn uitgewerkt in een foutenboom. De foutenboom geeft de causale relatie aan tussen de verschillende gebeurtenissen die tot een aanvaring kunnen leiden.

De scenario's en de foutenboom zijn getoetst bij een expertgroep bestaande uit schippers, brugwachters, scheepvaartverkeersbegeleiders en vaarwegbeheerders.

De experts waren van mening dat de scenario's een goed en volledig overzicht gaven van mogelijke aanvaarscenario's.

5.2 Aanbevelingen

Bij het uitwerken van de kansen van optreden (vervolg 2023/2024) is het van belang om ook rekening te houden met:

- Invloed van nieuwe technieken, b.v. kinderziektes;
- nieuwe brandstoffen;
- handhaving.

REFERENTIES

- [1] Eurocode
- [2] Rijkswaterstaat, Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK), versie 1.4, april 2017,
- [3] Rijkswaterstaat, Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK), versie 1.4, april 2017, bijlage 1
- [4] Rijkswaterstaat, Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK), versie 1.4, april 2017, bijlage 2
- [5] Rijkswaterstaat, Handreiking prestatiegestuurde risicoanalyses (PRA) - Sturen op prestaties van systemen, versie 1.0.1, 8 maart 2018
- [6] ISO10252:2020: 'Bases for design of structures — Accidental actions'.
- [7] Nelisse, R.M.L. e.a., Aanvaarkans Nieuwe Zeesluis IJmuiden, TNO-rapport TNO 2014 R10870, juni 2014
- [8] Eurocode 1, PART 1.7 Accidental Actions Background Document, 4th draft, January 2012 by A. Vrouwenvelder, contributions by U. Stiefel
- [9] Rijkswaterstaat, Handreiking kwantificering aanvaarrisico, versie 1.0.1, November 2017
- [10] Rijkswaterstaat, SOS-Formulier: versie 4.1.0, Handleiding en Toelichting, 14 februari 2013, definitief
- [11] NEN-EN 1991-1-7+C1+A1/NB (nl), Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-7+C1+A1: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-7: Algemene belastingen - Buitengewone belastingen, november 2019
- [12] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Seventh Edition, 2014, U.S. Customary Units
- [13] AASHTO Guide Specifications and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, Second Edition 2009 with 2010 Interim Revisions
- [14] Knott, Michael, Mikele Winters, Ship and Barge Collisions with Bridges over Navigable Waterways, paper, PIANC World Congress Panama City, Panama 2018
- [15] Knott, Michael, Mikele Winters, Ship and Barge Collisions with Bridges over Navigable Waterways, presentation, PIANC World Congress Panama City, Panama 2018
- [16] ISO2394:2015: 'General principles on reliability for structures'.
- [17] MARIN, Inschatting risico op aanvaring nieuwe keersluis Limmel, rapportnummer 27551-1-MSCN-REV.6, oktober 2014
- [18] Nelisse, R.M.L., Aanzet tot kwantitatieve risicoanalyse van aanvaringen van bruggen en sluizen in binnenvaartwegen, TNO 2015 R10815, 2015
- [19] JCSS Workshop on ship collision risk assessment, <https://www.jcss-lc.org/workshop-ship-collision-risk-assessment/>, Denemarken, januari 2020
- [20] Nelisse, R.M.L., et al, Explosies in tunnels, Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken (ROK): discussiedocument voor de ontwerpbelasting voor explosies in tunnels, TNO-2015-R11728, IQ-2015-06, 24 februari 2016,
- [21] Onderzoeksraad voor Veiligheid, Stuwaanvaring door Benzeentanker bij Grave, 3 mei 2018.

APPENDICES

APPENDIX 1 VERSLAG WORKSHOP AANVAARRISICO

Aantekeningen workshop 5 december 2022

Door Mirjam Nelisse, aangevuld met uitwerking in de week na 5 december.

Aanwezigen: Mirjam Nelisse en Benjamin Cerar (TNO), Dick ten Hove en Martijn Schipper (Marin), Johan van Sloten (RWS), Migena Zagonjoli (Deltares)

Genodigden:

1. Maurits van der Linde, KBN
2. Riemer Kingma, KBN en schipper op Maranta
3. Leo Scholtes, RWS
4. J.W. Visser, schipper,
5. Marcel Geenen, RWS
6. Ezra de Jager, schipper
7. Dennis van de Griend, schipper
8. Willem van de Griend, schipper
9. Marius van den Ouden, HbR
10. Nathan van Brussel, schipper
11. Jan Willem van Pelt, RWS
12. Andre Blom, RWS
13. Patrick Bouwens, RWS

Redenen voor Spijkenisserbrug

1. Pijler in vaarweg
2. Data beschikbaar
3. Stroming
4. Brug heeft wel dukdalven en dat is goed zichtbaar op radar i.t.t. de Botlekbrug
5. Kruising maakt het ook uitdagender en plotselinge wind na hoogbouw, komend vanuit het oosten
6. Zeevaart altijd voorrang

Zeevaart werkt erg op tijd, want krijgen op bepaalde tijd loods aan boord of brugopening. Veel tijdsdruk, ook in binnenvaart.

Scenario's

Schip drijft naar de brug (Johan): En poort lage vaarsnelheid en weersomstandigheden. Moet of poort zijn? Weersomstandigheden ander woord, want ook eb, vloed. Hydrometeo condities. Toevoeging oorzaken: brug wil niet open, loslatende koppelverbanden en loslatende duwbakken, 2800-3500 ton. Kan 10kmph zijn.

Conclusie: Ik denk dat het een EN poort moet blijven. Alleen een lage vaarsnelheid is niet genoeg om per definitie naar de brug te drijven. Schip kan ook van de brug weg drijven. En alleen de hydro-meteo condities is zowiezo niet voldoende, want daar is nog geen schip bij betrokken. De controle wordt juist lastig door de hydro-meteo omstandigheden. **Vraag:** wat is het verschil tussen kapotte sleeplijn en kapot koppelverband? Kunnen we deze gebeurtenissen samen nemen?

Aangedreven scenario's:

Roerfout (Johan): onbestuurbaar schip. Moeten dat 'of' poorten zijn of zijn dat 'en' poorten. Troep in schroef en niet roer. Schipafhankelijk, noodstuurinrichting, technische staat, Meest input op menselijke fouten. Bewust, maar ook onwel wording, Als 1^e of 2^e oorzaak optreedt, dan is menselijke fout van invloed om het ten goede te keren of juist niet. Menselijke fout opsplitsen in competenties/omstandigheden.

Conclusie: troep in roer hele kleine kans, kan misschien zelfs weg. Ik blijf bij of-poort, omdat enkel menselijk handelen op zichzelf kan leiden tot een aanvaring en dat is ook zo voor een kapot roer.

Zuiging (Migena)

Type aandrijving, communicatie, 2 oorzaken: hydraulische omstandigheden, passerende schepen, geen gebruik van kopschroef meer kans op aanvaringen. Ontwerp brugpijlers, losse palen ipv 1 forse pijler geeft minder last van zuiging. Zuiging door 1) passerend en 2) hydraulisch. Zuiging leidt tot hekgolf. Zuiging leidt tot uit koers, boeg/hekgolf niet. Zuiging kan als zelfstandige oorzaak, maar ook in combinatie met menselijk falen.

Conclusie: Boeg en hekgolven kunnen vervallen, want leiden niet tot een (zee/binnenvaart)schip uit koers. Zuiging leidt wel tot uit koers, dus blijft als oorzaak van "uit koers" genoemd. Menselijk falen is niet als zelfstandige oorzaak genoemd, omdat het vooral te maken heeft met hoe met de zuiging wordt omgegaan. Menselijk falen an sich heeft geen zuiging tot gevolg.

Boeg en hekgolven (Migena): Waterverplaatsing, hulpdiensten en patrouillevaart, problemen met staaldraden.

Conclusie: vervalt. Zie zuiging. Boeg en hekgolven kunnen wel leiden tot losgeslagen duwbak.

Slecht zicht/radarbeeld (Dick): Doorvaartopening wijzigen en opnieuw oplijnen, veranderende situaties (nieuwbouw, verbouw), weersomstandigheden regen, nautische verlichting brug, is handig met oriënteren, maar niet altijd aanwezig of aan. Kans beïnvloedend: lokale bekendheid, opleidingsniveau, pijlverlichting, hoogspanningsleidingen, meerdere bruggen achter elkaar, achtergrondlichtvervuiling. Radarreflectoren pijlers als mitigerende maatregel.

Conclusie: Slecht zicht/radarbeeld komt o.a. door externe oorzaken (hoogspanningslijnen), door technisch falen (uitval radar) en door menselijk falen (verkeerde interpretatie). Op dit moment heeft verder uitsplitsen van de gebeurtenis m.i. geen toegevoegde waarde.

Uitwijken ander schip (Martijn): communicatiefout onderverdelen (1. regels niet weten/recreatievaart, 2 plaatsbepaling), locatiebepaling tot objecten aan wal die er vroeger waren. Technische storing: we gaan er vanuit dat alles werkt, visueel is sneller dan elektronisch, of poort of schip voor brug die niet opent, brug niet opent komt regelmatig voor, discipline om tijdig brugopeningen te vragen of te verlenen. Afstand bediening, communicatiemoment moet niet het moment zijn dat opening gebeurt, maar van tevoren. Bijna nooit wachtplaatsen bij bruggen, bij lokale bediening hoort dat niet.

Conclusie: Miscommunicatie breder opvatten, dus ook regels niet weten. En poort van schip kapot en communicatiefout leiden tot onverwachte positie verandert naar of poort: of schip kapot of communicatiefout leidt tot schip op onverwachte positie.

Aandrijving faalt (Benjamin/Martijn): Alle aandrijving: of alleen op schoepen achter afhankelijk voor of tegenstrooms. Alles uit, dan alleen anker uit. Niet dwars voor de brug liggen, liever tussen de pijlers door dan dwars voor de brug. Wat voor schip, omstandigheden, voortstuwing. Ervaring etc maakt verschil in weinig of grote kans aanvaring. Meeste schepen aparte diesel voor boegschroeven, kans dat alles uitvalt is niet zo groot. Als niet alles uitvalt, maar sommige dingen doen het nog wel. Vervuilde brandstof is common cause failure. Marius waalhaven dieselelectrisch schip dat volledig uitviel.

Conclusie: CCF van brandstof goed om in beeld te hebben. Verder duidelijk dat er nog wel wat backups zijn. Roer wordt vaak ook door voortstuwing/motor aangedreven.

Totaalboom (Dick): Nieuwe technieken, kinderziektes, nieuwe brandstoffen, handhaving, storingen van stilvallende schepen (=grotere faalkans aandrijving), hydrometeo condities spelen rol bij heel veel scenario's, mitigerend: vorm pijler in combinatie met stroombeeld, zeevaart en recreatievaart ook van invloed. Uitmijken voor recreatievaart en daarom uit koers. Effecten van spuikanalen en dwarsstroom gradiënten. Voor enkelvarend schip makkelijker dan voor duwbakken. Kop vangt al vloed op voordat hij vaart kan maken. Veerhaven instituut, goede opleiding.

Conclusie: aantal zaken aangepast. Veel moet ook verwerkt worden in de omschrijving van de gebeurtenissen in de tabellen.

