

## Review en verbeteropties assemblage

(Versie zonder namen experts)



## Review en verbeteropties assemblage

## Review en verbeteropties assemblage

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Alessandra Bizzarri
<b>Referenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	Assemblage, KVK, BOI, Riskeer, Combin, Hydra-Ring

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	2.0
<b>Datum</b>	23-02-2023
<b>Projectnummer</b>	11208057-024
<b>Document ID</b>	11208057-024-GEO-0002
<b>Pagina's</b>	39
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Wim Kanning	
	Karolina Wojciechowska	

***Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.***

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
2.0	Wim Kanning	Kin Sun Lam	Remon Pot

# Samenvatting

In het WBI2017, het Wettelijke BeoordelingsInstrumentarium voor waterkeringen, worden verschillende analyseresultaten per faalmechanisme per doorsnede en vak gecombineerd tot een veiligheidsoordeel voor een dijktraject. Dit wordt **assemblage** genoemd. Er zijn de afgelopen jaren bij gebruikers en specialisten tekortkomingen en/of behoeftes tot aanscherping geïdentificeerd. Daarnaast wordt de huidige assemblage als conservatief gezien. Het doel van dit project is daarom:

- Het inventariseren van de tekortkomingen en behoeftes tot aanscherping in de assemblage.
- Het bundelen en prioriteren van mogelijke verbeteringen in de assemblage.

Naast een beschouwing van de huidige assemblage is dit gedaan met de volgende drie deelonderzoeken:

- A. Bepalen hoe de aannames in de huidige assemblage uitpakken ten opzichte van de nauwkeuriger aanpak uit VNK2<sup>1</sup>. De belangrijkste bevindingen zijn dat voor de meeste mechanismes de huidige assemblage gemiddeld gezien redelijk goed werkt.
- B. Ophalen bevindingen gebruikers. Dit is gedaan door Helpdesk Water vragen te analyseren en gebruikers te interviewen.
- C. Ophalen bevindingen experts. Op basis van interviews zijn vele bevindingen in kaart gebracht, waaronder de wens om enerzijds nauwkeurig te zijn, maar anderzijds ook resultaten te hebben die goed te duiden en uit te leggen zijn.

Deze bevindingen zijn vervolgens in een synthese gebundeld. De belangrijkste aanbevelingen zijn om **korte termijn aanpassingen** aan Riskeer te doen om zo fouten en vragen van gebruikers te ondervangen. Ook wordt aanbevolen om op korte termijn handleidingen en voorbeelden uit te werken zodat gebruikers beter met Riskeer om kunnen gaan. Voor de **lange termijn** wordt aanbevolen om een **hybride** (verschillende soorten invoer en assemblagemethodes worden ondersteunt) en **flexibel instrumentarium** te ontwikkelen, in samenspraak met een brede groep belanghebbenden, met een werkproces wat een goede uitkomst ondersteunt. Randvoorwaarden voor deze ontwikkeling zijn dat het toekomstige instrumentarium passend bij het doel, flexibel en uitlegbaar is.

---

<sup>1</sup> Veiligheid Nederland in Kaart 2

# Summary

In the WBI2017, the Dutch statutory assessment tool for flood defenses, various analysis results per failure mechanism per cross-section and section ('vak') are combined to produce a safety assessment for a flood defense segment ('traject'). This is called **assembly**. In recent years, users and specialists have identified shortcomings and/or needs for improvement. In addition, the current assembly is considered conservative. The purpose of this project is therefore:

- To identify shortcomings and needs for improvements in the assembly.
- To compile and prioritize possible improvements in the assembly.

In addition to a consideration of the current assembly, this was done with the following three sub-studies:

- A. Determining how the assumptions in the current assembly play out relative to the more accurate approach from VNK2<sup>2</sup>. The main findings are that for most mechanisms, the current assembly works reasonably well on average.
- B. Retrieve findings users. This was done by analyzing Helpdesk Water questions and interviewing users.
- C. Retrieve findings experts. Based on interviews, many findings were identified, including the desire to be accurate on the one hand, but also to have results that are easy to interpret and explain.

These findings were then compiled into a synthesis. The main recommendations are to make **short-term** adjustments to Riskeer (the program used for the assembly) to address errors and user questions. It is also recommended in the short term to develop manuals and examples so that users can better use Riskeer. For the **long term** it is recommended to develop a **hybrid** (different types of input and assembly methods are supported) and **flexible** set of tools, in consultation with a broad group of stakeholders, with a work process that supports a good outcome. Preconditions for this development are that the future set of tools should be fit for purpose, flexible and explainable.

---

<sup>2</sup> Veiligheid Nederland in Kaart 2 (The National Flood Risk Analysis for the Netherlands)

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
	<b>Summary</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Aanleiding en doel	8
1.2	Aanpak en opzet rapportage	9
1.3	Scope	9
1.4	Relevante ontwikkelingen	9
<b>2</b>	<b>Het assemblageprotocol voor LBO-2</b>	<b>11</b>
2.1	Van LBO-1 naar LBO-2	11
2.2	Assemblage LBO-2 in een notendop	11
2.3	Assemblage van doorsnede- naar trajectkans per mechanisme	12
2.4	Assemblage naar trajectkans	13
<b>3</b>	<b>Evaluatie uitkomsten huidige assemblage</b>	<b>14</b>
3.1	Aanpak	14
3.2	Resultaten	14
3.3	Conclusies	15
<b>4</b>	<b>Evaluatie assemblage gebruikers</b>	<b>17</b>
4.1	Helpdesk Water vragen	17
4.2	Omgaan met Helpdesk Water vragen	17
<b>5</b>	<b>Evaluatie assemblage experts</b>	<b>18</b>
5.1	Opzet	18
5.2	Uitkomsten	18
<b>6</b>	<b>Synthese bevindingen</b>	<b>19</b>
6.1	Samenvatting bevindingen en tekortkomingen	19
6.2	Korte termijn suggesties ter verbetering assemblage	19
6.3	Lange termijn suggesties ter verbetering assemblage	20
6.4	Uitdagingen	21
6.5	Aanbevolen vervolgacties	22
	<b>Bronnen</b>	<b>23</b>
<b>A</b>	<b>Analyse VNK resultaten</b>	<b>24</b>

A.1	Inleiding	24
A.2	Analyse	24
A.3	Uitkomsten	25
A.4	Conclusies	30
<b>B</b>	<b>Combin in Hydra-Ring/Riskeer vs. VNK2</b>	<b>31</b>
B.1	Inleiding	31
B.2	Probabilistisch combineren van faalkansen	31
B.2.1	Combineren van faalkansen in VNK en Hydra-Ring	31
B.2.2	Combineren van faalkansen in BOI	33
B.2.3	Combineren faalkansen met Hydra-Ring voor BOI	34
B.3	Conclusies	35
<b>C</b>	<b>Analyse Helpdesk Water vragen</b>	<b>36</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

In het WBI2017, het Wettelijke Beoordelinginstrumentarium voor primaire waterkeringen, worden verschillende analyseresultaten per faalmechanisme per doorsnede/vak gecombineerd tot een veiligheidsoordeel voor een dijktraject. Dit wordt assemblage genoemd. Door middel van een assemblageprotocol worden generiek, ongeacht de betrouwbaarheid, de resultaten gecombineerd. Dit kunnen (schattingen van) kansen per faalmechanisme per doorsnede/vak zijn die worden gecombineerd tot de faalkans van het faalmechanisme per dijktraject en tot de overstromingskans van het traject, maar in het tot nu toe gebruikte protocol ook andere resultaten (niet een kans) zijn waarmee ook een veiligheidsoordeel wordt bepaald. De uitvoer van het assembleren is idealiter een benadering van de overstromingskans, wat als onderbouwing kan dienen voor het veiligheidsoordeel. Een overstromingskans kan het beste worden benaderd met een volledige probabilistische analyse. Dit is vooralsnog niet realistisch, omdat niet voor alle faalmechanismen op probabilistische wijze een kans per vak wordt bepaald. Voor de vakken en faalmechanismen waar er wel op probabilistische wijze een kans per vak wordt bepaald kan de overstromingskans mogelijk wel worden aangescherpt ten opzichte van het huidige assemblageprotocol.

Met de start van de tweede Landelijke Beoordeling op basis van Overstromingskansen (LBO-2, 2023 – 2035) wordt in het Beoordeling- en Ontwerpinstrumentarium (BOI) de stap gezet om voor alle relevante faalmechanismen per vak een kansschatting te maken, zodat het combineren met andere resultaten (zonder kansschatting) zoals in LBO-1 (2017-2023) niet meer nodig is. Voor het combineren van kansen tot een overstromingskans van het traject worden in LBO-2 nog dezelfde assemblage-regels gebruikt als in LBO-1. Waar het doel van assemblage is om de verschillende deelresultaten te combineren tot een totale faalkans is dit geen doel op zich. Het achterliggende doel is vaak informatie en handelingsperspectief bieden voor verschillende taken zoals beoordelen, ontwerpen en continu in controle zijn. Het is belangrijk die achterliggende doel helder te krijgen omdat dit ook de keuzes in de assemblage kan sturen.

De afgelopen jaren is het assemblageprotocol ingezet voor LBO-1 en zijn er bij gebruikers en specialisten tekortkomingen en/of behoeftes tot aanscherping geïdentificeerd. Dit gaat onder meer over de ruwe benaderingen die in de assemblage worden toegepast voor het lengte-effect binnen een vak en tussen vakken en het combineren van vakken en faalmechanismen. Maar ook dat niet alle kennis kan worden meegenomen en dat de hoge gevonden kansen niet goed aansluiten bij de ervaring van de beheerder. Dit zorgt voor de nodige onrust in het werkveld rondom de assemblage. Het is echter niet precies duidelijk wat deze tekortkomingen en behoeftes zijn, dit is de aanleiding van dit project.

Een van de mogelijke tekortkomingen is dat de gebruikte benaderingen conservatief zijn. Dit was expliciet onderdeel van de assemblage in LBO-1 aangezien een volledige probabilistische beoordeling niet mogelijk was. Dit is mogelijk ongewenst aangezien er steeds meer mogelijkheden zijn tot probabilistische analyses ener binnen de beoordeling het doel verschuift naar een benadering die zo dicht mogelijk de overstromingskans moet benaderen.

Het doel van dit project is:

- Het inventariseren van de tekortkomingen en behoeftes tot aanscherping in de huidige assemblage.



- Het bundelen en prioriteren van mogelijke verbeteringen in de assemblage.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het onderzoekprogramma Kennis voor Keringen. Aanleiding zijn de vragen die zijn gesteld in de omgeving over de werking en uitlegbaarheid van de assemblage. Het rapport bevat geen visie of keuzes over de (toekomstige) positie van de assemblage binnen het instrumentarium. Deze horen binnen BOI.

## 1.2 Aanpak en opzet rapportage

Om aan de eerste doelstelling te voldoen (de inventarisatie) zijn de volgende deelonderzoeken uitgevoerd:

- A. Bepalen hoe de **aannames** in de **huidige assemblage** uitpakken voor daadwerkelijke trajecten. Eerst was het doel dit voor LBO-1 trajecten te doen. Aangezien het binnen de scope van het project niet mogelijk bleek om voldoende detailinformatie van LBO-1 trajecten te achterhalen, is gekozen om deze analyse uit te voeren op basis van VNK2 data. Dit staat beschreven in Hoofdstuk 3.
- B. Ophalen **bevindingen gebruikers**. Dit is gedaan door Helpdesk Water vragen te analyseren (Hoofdstuk 4) en door gebruikers te interviewen (Sander Kapinga, William van Ruiten) welke in Hoofdstuk 5 worden behandeld.
- C. Ophalen **bevindingen experts**. Dit is gedaan op basis van interviews (zie Hoofdstuk 5).

Op basis van deze gevonden tekortkomingen, wensen en eigen bevindingen is in Hoofdstuk 6 een synthese geschreven om aan de tweede doelstelling te voldoen (bundeling en prioritering). Als kader wordt eerst in Hoofdstuk 2 kort de assemblage voor LBO-2 toegelicht.

Naast de interviews is er ook gesproken met Ferdinand Diermanse, Alfons Smale en Pieter van Geer; allen van Deltares. De voorlopige bevindingen zijn via een online overleg op 22 november 2022 gedeeld met Alessandra Bizzarri, Marieke Hazelhoff (beide Rijkswaterstaat WVL), Johan Offermans (DGWB) en Alfons Smale (Deltares).

## 1.3 Scope

Het doel van dit project is vooral het inventariseren van mogelijke problemen en het schetsen van oplossingsrichtingen. Het doel is niet om definitieve oplossingen aan te dragen, daar is een discussie in een bredere setting voor nodig.

Dit project is onderdeel van het Kennis voor Keringen programma van Rijkswaterstaat en Deltares. Aanpassingen aan Riskeer (het programma waarin de assemblage wordt uitgevoerd) valt onder BOI en is nadrukkelijk geen onderdeel van dit project.

Dit rapport betreft een definitief concept voor opdrachtgever Rijkswaterstaat. In de definitieve versie zullen de opmerkingen van Rijkswaterstaat worden verwerkt, alsmede de uitkomsten van het interview met TNO wat nog gepland staat op 15 december 2022.

## 1.4 Relevante ontwikkelingen

Binnen Kennis voor Keringen is een case uitgewerkt waarmee faalkansen per vak en per faalmechanisme volledig probabilistisch, dus rekening houdende met ruimtelijke correlaties, tot de overstromingskans van een dijktraject gecombineerd worden (Deltares, 2022B). Deze toepassing is reeds mogelijk met bestaande instrumenten, waardoor het mogelijk is om voor andere dijkvakken dan de gehanteerde case, ook een aanpak te gebruiken waarin het lengte-effect expliciet bepaald kan worden. Binnen het BOI wordt gewerkt aan een verdere ontsluiting van de zogenaamde COMBIN-routine, welke zorgt voor een correcte probabilistische combinatie, vergelijkbaar met het project Veiligheid Nederlands in Kaart 2 (VVK2; zie Rijkswaterstaat Projectbureau VNK, 2012). Daarnaast kan voor een aantal

mechanismen worden teruggegrepen naar de ervaring uit VNK2 waar landsdekkende analyses zijn gedaan op basis van probabilistische analyses.

## 2 Het assemblageprotocol voor LBO-2

### 2.1 Van LBO-1 naar LBO-2

Voor het assemblageprotocol van LBO-1 wordt verwezen naar (Deltares, 2019). Door wijzigingen in de beoordeling (zoals beschreven in de Regeling van de Omgevingswet) was het nodig om het assemblageprotocol voor LBO-2 aan te passen (Deltares, 2022A). De aanpassingen worden hieronder kort beschreven. Naast het assemblageprotocol staat in Rijkswaterstaat (2022) hoe de assemblage toegepast kan worden. Het gaat in dit rapport om de assemblage zoals toegepast in Riskeer, de software die wordt gebruikt binnen LBO-1 en LBO-2 voor o.a. de assemblage. Een achterliggende gedachte van de assemblage in LBO-1 en LBO-2 is dat van grof naar fijn wordt gewerkt, van veel onzekerheid naar weinig onzekerheid. Zoals in Deltares (2021) beschreven wordt idealiter alles volledig probabilistisch gecombineerd. Maar aangezien dit niet haalbaar is, worden *conservatieve* benaderingen gebruikt. Waarbij de uitvoer niet direct een berekende overstromingskans is maar een oordeel over de mate waarin wel of niet aan de norm wordt voldaan.

### 2.2 Assemblage LBO-2 in een notendop

Ruwweg wordt de assemblage als volgt gedaan:

- Doorsnedekansen per mechanisme worden opgeschaald naar vakkansen per mechanisme door het lengte-effect in rekening te brengen (met behulp van een factor).
- Vakkansen per mechanisme worden gecombineerd tot een trajectkans van het mechanisme.
- De verschillende trajectkansen per mechanisme worden gecombineerd tot een trajectkans op basis van de aanname van onafhankelijkheid tussen de mechanismes.

De berekende overstromingskans leidt tot een veiligheidsoordeel, welke weer wordt gebruikt voor een handelingsperspectief. Het assembleren is dus een middel om te komen tot een veiligheidsoordeel en handelingsperspectief.

De belangrijkste aanpassingen aan de assemblage in Riskeer voor LBO-2 ten opzichte van LBO-1 zijn:

- Er wordt alleen met faalkans per mechanisme gerekend, er zijn geen categorieën meer voor de bijdrage van de mechanismen aan de overstromingskans, zoals in LBO-1.
- Er zijn geen faalkanseisen per mechanisme per doorsnede meer. Er wordt dus niet meer gerekend met een faalkansbegroting en standaard lengte-effecten om deze te bepalen. In Rijkswaterstaat (2022) wordt wel aangegeven hoe hier mee om te gaan voor de assemblage.
- De gebruiker heeft de mogelijkheid om:
  - De faalkansen per doorsnede en de kansen per vak te specificeren, zodat er maatwerk mogelijk is en het lengte-effect binnen een vak zelf bepaald kan worden. Dit helpt de gebruiker om schematiseringskeuzes en de assemblage goed in overeenstemming te brengen. Bijvoorbeeld, als een zwakke plek is geschematiseerd (bijvoorbeeld een kopsloot bij piping), hoeft geen lengte-effect meer in rekening gebracht te worden. De flexibiliteit in de assemblage maakt dit nu mogelijk.
  - De faalkans per faalmechanisme te overschrijven zodat er maatwerk mogelijk is, bijvoorbeeld in geval (buiten Riskeer) op basis van COMBIN routines (in VNK2<sup>3</sup>, zie Rijkswaterstaat (2012) gebruikte routines voor het probabilistisch combineren van

---

<sup>3</sup> Veiligheid Nederland in Kaart 2

bijvoorbeeld vakken en mechanismes; zie ook bijlage H) probabilistische sommen zijn gecombineerd <sup>4</sup>.

Op dit moment is geen standaard methode beschikbaar voor het zelf bepalen van lengte-effecten binnen Riskeer of voor de toepassing van geavanceerde methodes voor de combinatie. Hiervoor is deskundigenadvies nodig of wordt verwezen naar (Rijkswaterstaat, 2022). Gedetailleerde handleidingen met uitgewerkte cases en bijvoorbeeld cursussen hiervoor ontbreken echter nog.

Onderstaand wordt kort de assemblage beschreven in Riskeer voor LBO-2, voor meer informatie wordt verwezen naar (Deltares, 2022).

## 2.3 Assemblage van doorsnede- naar trajectkans per mechanisme

De invoer voor het huidige assembleren in Riskeer van de doorsnede- en vakkansen per mechanisme naar een trajectkans van het mechanisme bestaat uit:

- Lengte-effect factor op faalmechanisme niveau  $N_{mech}$  (verschil tussen doorsnede kans en trajectkans).
- Per vak: faalkans per doorsnede ( $P_{dns,i}$ ) en faalkans per vak ( $P_{vak,i}$ ).
- Voor sommige faalmechanismen (bijv. STBI en STPH) kan de faalkans per vak verkregen worden door de faalkans per doorsnede met de lengte-effect factor  $N_{vak}$  te vermenigvuldigen (deze kan automatisch worden bepaald of handmatig opgegeven).

Het bepalen van de trajectkans per mechanisme ( $P_{mech}$ ) gebeurt door eerst twee deelresultaten te bepalen,  $P_1$  en  $P_2$ .

$$P_1 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{vak,i})$$
$$P_2 = \max\{P_{dsn,i}\} N_{mech}$$

Vervolgens wordt voor de trajectkans per mechanisme het minimum van  $P_1$  en  $P_2$  genomen:

$$P_{mech} = \min\{P_1, P_2\}$$

Waarin  $P_{mech}$  eventueel later door de gebruiker handmatig in Riskeer kan worden overschreven.

Het idee bij bovenstaande formules is dat  $P_1$  een bovengrensschatting van een seriesysteem is en daarmee vooral kan worden gebruikt voor geotechnische mechanismes waarin veel lengte-effect mogelijk is, zoals STPH en STBU.  $P_2$  is een pragmatische aanpak voor mechanismes waarin weinig lengte-effect wordt verwacht en de kans wordt bepaald aan de hand van een zwakste doorsnede, bijvoorbeeld duinafslag.  $N_{mech}$  is in deze gevallen ook klein (bijvoorbeeld 2 of 3) en voornamelijk afhankelijk van het aantal onafhankelijke belastingrichtingen. Opgemerkt wordt dat de theoretische onder- en bovengrens van de faalkans per mechanisme als volgt worden gedefinieerd. Deze definities gelden voor een seriesysteem (wat een dijktraject is):

- $P_{ondergrens} = \max\{P_{vak,i}\}$ , de ondergrens correspondeert met volledige afhankelijkheid tussen vakken (bijv. duinafslag).
- $P_{bovengrens} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{vak,i})$ , de bovengrens correspondeert met volledige onafhankelijkheid tussen vakken (bijv. piping).

---

<sup>4</sup> De gebruiker kan de faalkans per traject niet overschrijven.

Deelresultaat  $P_1$  is dus gelijk aan de theoretische bovengrens en veronderstelt de volledige onafhankelijkheid tussen vakken. Dit is voor bijvoorbeeld piping een goed uitgangspunt.  $P_2$  veronderstelt dat de zwakste doorsnede voor het hele traject representatief is;  $P_2$  correspondeert echter niet noodzakelijk met de theoretische ondergrens.

#### **Aandachtspunten bij de huidige bepaling van de faalkans $P_{mech}$**

Er zijn twee aandachtspunten met hoe op dit moment faalkans  $P_{mech}$  bepaald wordt:

1. **Uitlegbaarheid:** het is niet goed uitlegbaar dat voor een mechanisme waarvoor onafhankelijkheid geldt (bijvoorbeeld piping) ook een  $P_2$  som wordt gemaakt.
2. **Correctheid:** er zijn gevallen mogelijk dat  $P_2$  dominant is voor een geval waar eigenlijk  $P_1$  zou moeten gelden (bijvoorbeeld In geval van piping waarin één vak erg dominant is voor de kans). Bovendien zijn er vraagtekens bij de juistheid van de  $P_2$  formulering (aangezien de theoretische ondergrens de kans van de zwakste doorsnede is).

Om bovenstaande redenen is het wenselijk om de **assemblage** zo **aan te passen** dat per mechanismes alleen  $P_1$  of  $P_2$  wordt gebruikt. Waarbij goed wordt gekeken wat de juiste manier van implementatie van  $P_2$  is. Een handvat voor het toepassen van  $P_1$  of  $P_2$  zou in een handleiding opgenomen kunnen worden.

## 2.4 Assemblage naar trajectkans

De combinatie van trajectkansen per mechanisme tot een totale trajectkans ( $P_{traject}$ ) wordt gedaan onder de aanname van onafhankelijkheid tussen de mechanismes:

$$P_{traject} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{mech,i})$$

## 3 Evaluatie uitkomsten huidige assemblage

In dit hoofdstuk wordt de invloed van verschillende assemblagekeuzes beschreven. Het was oorspronkelijk de bedoeling hiervoor LBO-1 uitkomsten te gebruiken, maar aangezien het binnen de scope van dit project niet mogelijk was om voldoende informatie te achterhalen (de data is er wel), is VNK2 data gebruikt. De gehele analyse staat beschreven in Bijlage H.

### 3.1 Aanpak

In de VNK2 studie zijn de vakkansen per mechanisme, net als in de assemblage, ook gecombineerd tot eerst de trajectkansen per mechanisme en vervolgens de totale trajectkans. Maar dan volgens de exactere probabilistische methodes, de zogenaamde COMBIN-routines. In de hier beschreven studie zijn de VNK2 resultaten gebruikt om te kijken hoe de benaderingen in de assemblage (zoals beschreven in Hoofdstuk 2) zich verhouden tot de 'exacte' uitkomsten uit VNK2. Met andere woorden, om te kijken hoe goed de verschillende vereenvoudigingen in de assemblage voor LBO-2 zijn. Dit is gedaan in twee stappen:

1. De vergelijking tussen de VNK2 faalkansen per faalmechanisme met de theoretische onder- en bovengrens, zoals beschreven in sectie 2.2.
2. De vergelijking voor de combinatie van mechanismekansen per traject tot een trajectkans.

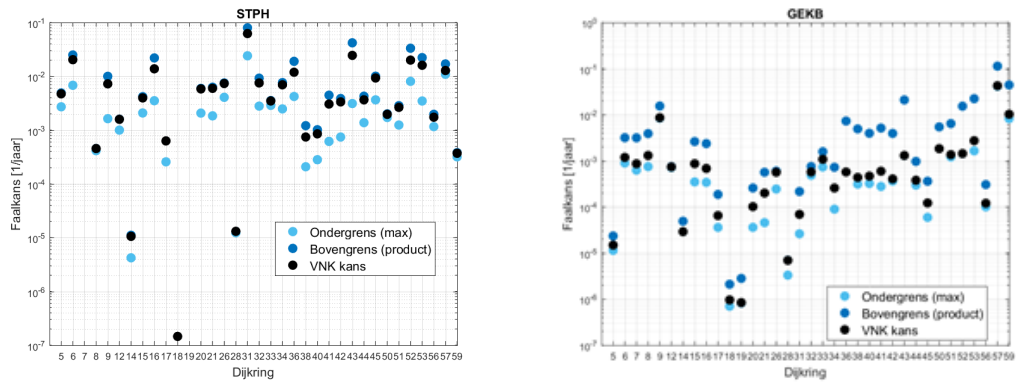
Het was in deze studie niet mogelijk om op basis van de VNK2 resultaten, de assemblage aanpak volledig na te botsen. Dat is omdat de faalkansen per doorsnede niet in de VNK2 databases zijn bewaard. Daardoor was het niet mogelijk om het deelresultaat  $P_2$  met de VNK2 data te bepalen. De vergelijking in dit hoofdstuk richt zich eerst op een feitelijke analyse, de interpretatie volgt in de conclusie in paragraaf 3.3.

### 3.2 Resultaten

#### Stap 1: vakkansen naar trajectkans per mechanisme

De volgende resultaten worden gevonden. Voor meer informatie zie Bijlage G:

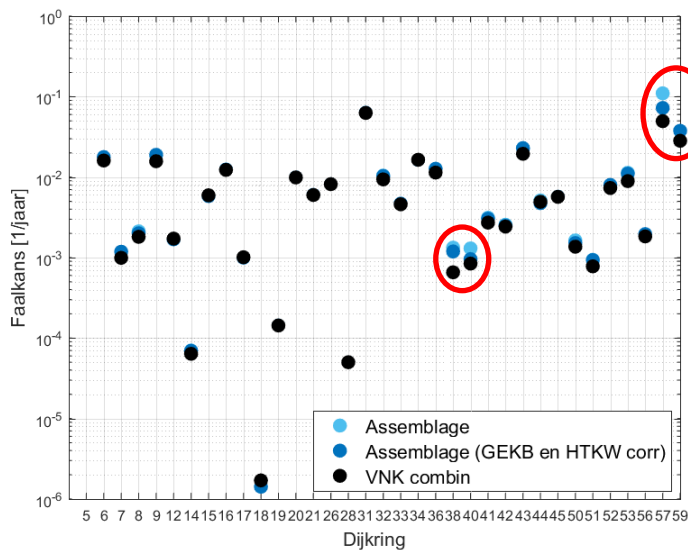
- Piping (STPH, zie Figuur 3-1): de gecombineerde faalkansen conform VNK2 worden goed benaderd door de theoretische bovengrens:  $P_{\text{bovengrens}}$  zoals beschreven in paragraaf 2.3.
- Bekledingen: geen eenduidig beeld, voor sommige dijkringen ligt de gecombineerde faalkans conform VNK2 in de buurt van de theoretische ondergrens ( $P_{\text{ondergrens}}$  in paragraaf 2.3) en voor sommige juist in de buurt van de theoretische bovengrens.
- Overige faalmechanismen: geen eenduidig beeld, de afstand tussen de theoretische onder- en de bovengrens is in het algemeen niet groot.
- Overloop/overslag (GEKB, zie Figuur 3-1) en hoogte kunstwerk (HTKW): de gecombineerde faalkansen conform VNK2 liggen vaak net boven de theoretische ondergrens. Op enkele plekken is de afwijking iets groter.



Figuur 3-1: Uitkomsten voor piping (STPH) en overloop/overslag (GEKB).

### Stap 2: trajectkansen per mechanisme naar totale trajectkansen

De onderstaande Figuur 3-2 geeft een vergelijking tussen de overstromingskansen **per dijkring** uit de VNK studie (probabilistische methode) en de overstromingskansen verkregen door het onafhankelijk beschouwen van de faalmechanismen (Assemblage). Uit de vergelijking komt naar voren dat het beschouwen van onafhankelijke faalmechanismen voor de meeste dijkringen vergelijkbare resultaten geeft als de gecombineerde methode van VNK2. Voor enkele gevallen (rood omcirkeld) leidt de aanname van onafhankelijkheid tot een overschatting van de overstromingskans, maar de overschatting is niet aanzienlijk. In de analyse is er ook gekeken naar het beschouwen van GEKB en HTKW als volledig gecorreleerd in de Assemblage aanpak (en dan geldt het maximum van beide kansen). Dat leidt tot een kleine reductie van de overstromingskans in deze studie op dijkringniveau, lokaal (zie de rode cirkels in Figuur 3-2) kan dit echter wel aanzienlijke impact hebben.



Figuur 3-2: vergelijking combinatie faalmechanismes volgens assemblage en VNK2.

## 3.3 Conclusies

De volgende conclusies worden getrokken voor het per faalmechanisme combineren van de faalkans per vak tot de faalkans per dijkring (zie ook Figuur 3-1):

1. Voor het faalmechanisme STPH wordt de gecombineerde faalkans goed benaderd door het onafhankelijk beschouwen van vakken. Deelresultaat P<sub>1</sub> met de assemblage is dus een goede benadering van de faalkans per dijkring voor dit faalmechanisme.

2. Voor de faalmechanismen GEKB en HTKW liggen de gecombineerde faalkansen conform VNK2 vaak net boven de kansen zoals geassembleerd met Riskeer op basis van de ondergrens (het maximum van de kansen op basis van aanname volledige correlatie). De aanname van onafhankelijke vakken daarentegen, zoals bij deelresultaat  $P_1$  met de assemblage, leidt voor deze faalmechanismen tot een sterke overschatting van de faalkans per traject ten opzicht van de probabilistische gecombineerde faalkans. Een faalkansschatting gebaseerd op volledige correlatie van GEKB en HTKW (dus het maximum van faalkansen) per vak zal dus naar verwachting een betere benadering zijn.
3. Omdat bij de overige mechanismen de boven- en ondergrenzen niet ver uit elkaar liggen, is het niet mogelijk om een duidelijke conclusie te trekken over de benaderingen van de assemblage ten opzicht van de gecombineerde aanpak van VNK2.

De volgende conclusie worden getrokken voor het combineren van mechanismes (zie ook Figuur 3-2):

1. Het onafhankelijk combineren van faalkansen per faalmechanisme (zoals in de assemblage) resulteert in een goede benadering van de overstromingskans van de dijkringen ten opzicht van de "exacte waarde" uit de probabilistische analyse. Het volledig correleren van GEKB en HTKW leidt tot verdere verkleining van de verschillen tussen benadering en een volledige probabilistische analyse. Deze aanscherping heeft in het algemeen geen groot effect op de trajectkans, maar kan voor specifieke vakken wel significant effect hebben.

Hierbij moet worden opgemerkt dat voor LBO-1 (welke assemblage protocollen ook bij LBO-2 grotendeels worden gebruikt) er conservatieve keuzes zijn gemaakt door aannames van bijvoorbeeld onafhankelijkheid. Het is dus ook de verwachting dat dit conservatisme terug wordt gevonden bij een vergelijking met exactere methodes.



## 4 Evaluatie assemblage gebruikers

De evaluatie van gebruikers is gedaan op basis van vragen aan de Helpdesk Water en interviews met gebruikers. De interviews met de gebruikers (Sander Kapinga, ILenT, William van Ruiten) zijn verwerkt in hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk wordt dus alleen gekeken naar de Helpdesk Water vragen. De gehele analyse van de vragen staat beschreven in Bijlage I.

### 4.1 Helpdesk Water vragen

De Helpdesk Water vragen zijn onder te verdelen in de volgende groepen (zie ook Bijlage I):

1. Duiding resultaten assemblage. Hoe moeten de verschillende resultaten geduid worden, hoe zijn ze berekend?
2. Hoe om te gaan met het combineren van GEKB en HTKW? Deze zijn volledig afhankelijk maar worden nu als onafhankelijk meegenomen.
3. Trajecten met meerdere hydraulische databases. Het is nu niet goed mogelijk in Riskeer om hier mee om te gaan.
4. Trajecten met meerdere referentielijnen (bijv. hoge gronden in Limburg). Het is nu niet goed mogelijk in Riskeer om hier mee om te gaan.
5. Indirecte faalmechanismes. Hoe hier mee om te gaan? Dit is niet direct onderdeel van de assemblage, maar kan worden meegenomen via scenario's als ze niet verwaarloosbaar zijn.
6. Hoe kan je een kans bepalen in geval je alleen een veiligheidsfactor kan uitrekenen (bijvoorbeeld voor bekledingen)? Dit valt buiten de scope van de assemblage, maar dit kan door bij verschillende belasting niveaus te kijken of er falen (veiligheidsfactor kleiner dan 1) optreedt of niet.

Uit de interviews in Hoofdstuk 5 bleek dat er waarschijnlijk niet heel veel vragen over de assemblage zijn, omdat het niet altijd goed doorgrond wordt. Er was slechts één vraag over de betrouwbaarheid van het assemblageresultaat (vraag 20 04 0593).

### 4.2 Omgaan met Helpdesk Water vragen

Vooruitlopend op de synthese van Hoofdstuk 6 kunnen we op de volgende manier met bovenstaande Helpdesk Water vragen omgaan:

- (1) De duiding van de resultaten beter mogelijk maken via handleidingen en cursussen.
- (2) Combineren GEKB en HTKW mogelijk maken via Riskeer.
- (3) en (4) Assembleren van trajecten met meerdere hydraulische databases en referentielijnen ondersteunen in Riskeer.
- (5) en (6) vallen buiten de scope van de assemblage.

# 5 Evaluatie assemblage experts

## 5.1 Opzet

Er zijn interviews gehouden met de volgende experts en gebruikers.

De interviews zijn gehouden aan de hand van een enkele powerpoint slides waarin de huidige stand van zaken werd toegelicht, gevolgd door een open discussie over tekortkomingen en verbeterpunten van de assemblage en hoe deze op te lossen.

In de volgende paragraaf worden de opmerkingen uit de interviews puntsgewijs aangegeven. In de hoofdstuk 6 worden deze verdere beschreven en worden korte termijn en mogelijke lange termijn aanbevelingen gegeven.

## 5.2 Uitkomsten

De uitkomsten van de individuele gesprekken staan beschreven in de verschillende genoemde bijlages. Onderstaand staan kort de belangrijkste bevindingen samengevat:

- Er zitten **fouten** in huidige assemblage, deze dienen verbeterd te worden.
- Er is **flexibiliteit** nodig als men bijvoorbeeld schematiseert op basis van zwakste plek.
- Het moet vooral heel **duidelijk** zijn wat er gebeurt.
- Vragen zitten ook bij resultaten faalmechanismes, niet alleen bij assemblage.
- **Benaderingen** kunnen in veel gevallen **goed** werken.
- We kunnen al heel veel (VNK2), het is jammer dat dit niet gebruikt wordt.
- Voor de kans maakt de nette manier misschien niet heel veel uit, wel voor handelingsperspectief.
- **Uitlegbaarheid** en **reproduceerbaarheid** van belang, kan voordelen hebben t.o.v. nauwkeurigheid.
- **Handreikingen** / voorbeelden van belang.
- Succes ligt niet alleen aan instrumentarium, ook aan werken in **teams** (korte lijstjes).
- Balans tussen inspanning en kansbijdrage.
- **Fragility curves** ontsluiten is een wens, omdat deze het werkproces goed ondersteunen.
- Incrementeel het resultaat verbeteren ondersteunen.
- Behoeftte aan combineren faalmechanismen per vak.
- Behoeftte aan een methode om te bepalen welke vakken de grootste bijdrage hebben aan de overstromingskans.
- **Assembleren** en **schematiseren** hebben verband met elkaar.

## 6 Synthese bevindingen

### 6.1 Samenvatting bevindingen en tekortkomingen

In dit hoofdstuk wordt de synthese besproken, waarin we suggesties doen ter verbetering van de assemblage op basis van de gevonden tekortkomingen en wensen uit de vorige drie hoofdstukken en de interpretatie van de auteurs. Enkele belangrijke bevindingen hierin zijn:

- Er zitten enkele onjuistheden in de huidige assemblage welke opgepakt moeten worden (zie paragraaf 2.3 en 5.2).
- Beschrijvingen hoe het lengte-effect nu wordt meegenomen in Riskeer en hoe gebruikers zelf lengte-effecten kunnen bepalen ontbreken (paragraaf 2.2 en 5.2).
- Het gebruik van vereenvoudigingen in de Riskeer assemblage in vergelijking met VNK2 resultaten leidt voor een groot deel van de gevallen tot goede resultaten (paragraaf 3.3). Echter, lokaal en voor sommige mechanismes kunnen de vereenvoudigingen wel tot grotere afwijkingen leiden (paragraaf 3.3).
- Er is technisch meer mogelijk, bijvoorbeeld via het toepassen van de COMBIN routines, voor het probabilistisch combineren van uitkomsten. Deze wens is er ook vanuit gebruikers en experts (paragraaf 5.2). Hoewel er ook goed moet worden gedacht aan begrip en uitlegbaarheid (paragraaf 5.2).
- Er is een wens om ook de gecombineerde kans per vak te bepalen, dit kan nu nog niet in de huidige assemblage (paragraaf 5.2).

Hieronder maken we onderscheid tussen **korte termijn** suggesties en **lange termijn** suggesties. Er wordt afgesloten met een voorstel voor het vervolg.

### 6.2 Korte termijn suggesties ter verbetering assemblage

De korte termijn suggesties ter verbetering hebben betrekking op een termijn in de orde van een releasetermijn van Riskeer, dus orde een half jaar à een jaar.

#### **Aanpassingen Riskeer**

De volgende aanpassingen aan Riskeer voor de korte termijn worden aanbevolen. Dit zijn verbeteringen die leiden tot meer flexibiliteit, begrip en scherpere beoordeling:

- Aanpassingen aan het assemblageprotocol zoals in paragraaf 2.2 beschreven. Nu wordt binnen het mechanisme zowel de combinatie op basis van onafhankelijkheid als het maximum van doorsnedekansen bepaald en het minimum van de twee wordt gebruikt (P1 en P2, zie paragraaf 2.2). Dit is niet correct en niet uitlegbaar, en dient aangepast te worden. Bijvoorbeeld door de gebruiker de keuze te geven welke van de 2 opties deze wil gebruiken (met een default voorkeur per mechanisme) om zo goed mogelijk aan te sluiten bij het mechanisme.
- Oplossen combineren HTKW en GEKB (zie paragrafen 3.2, 3.3 en 4.1) bijvoorbeeld door alleen de zwakste van die twee mee te nemen in Riskeer.
- Riskeer aanpassen zodanig dat er met trajecten met meerdere hydraulische databases en meerdere referentielijnen (bijv. hoge gronden) omgegaan kan worden.
- Optioneel: het inbouwen van een theoretisch ondergrens en bovengrens zodat ook bij geavanceerdere analyses altijd de handmatig na te rekenen grenzen hebben om de resultaten te kunnen duiden. Hierbij is het van belang dat eerste het doel duidelijk wordt geschetst (zie ook volgende paragraaf) en vervolgens de theoretische aannames en uitgangspunten helder aan de gebruiker worden gepresenteerd.

## Handleidingen en cursussen

Voor de duiding en de reproduceerbaarheid van de assemblage is het belangrijk dat er goede handleidingen en cursussen komen. Vragen die hierin aan bod dienen te komen zijn:

- Wat is het doel van de huidige assemblage, hoe werkt dit?
- Wat is de ideale manier van assembleren, wat is het effect van vereenvoudigingen?
- Hoe bepaal je lengte-effecten? Hoe werkt dit in theorie? Welke keuzes kom je tegen? Hoe ga je om met verschillende situaties?

## 6.3 Lange termijn suggesties ter verbetering assemblage

### Huidige ontwikkelingen

Er zijn verschillende ontwikkelingen gaande. Enerzijds worden er voor de verschillende faalmechanismes stappen gezet om probabilistische analyses te doen. Daardoor kunnen er steeds meer en nauwkeuriger kansen worden uitgerekend, wat ook voor steeds meer mechanismes de mogelijkheid biedt tot een assemblage van kansen zonder benaderingen. Tegelijkertijd veranderen de werkprocessen: er wordt meer met faalpaden gewerkt, er zijn meer geavanceerde methodes beschikbaar en er wordt meer met data gewerkt (een voorbeeld is de uittredepuntenmethode voor piping van Waterschap Rivierenland welke andere eisen stelt aan de assemblage). Ook verandert de positie van modellen binnen de nieuwe omgevingswet. Daar staat tegenover dat er geen consensus lijkt over het precieze doel van de assemblage en zijn er meerdere doelen mogelijk. Dit doel achterhalen is een belangrijke eerste stap voor de lange termijn ontwikkeling van de assemblage, ook in relatie met de verdere ontwikkeling van de COMBIN-routine.

Dit houdt vooral in dat we, in een brede groep, goed moeten kijken naar wat er mogelijk moet zijn in de assemblage (en wat niet), dat er **flexibiliteit** zit in zowel de eisen aan het instrumentarium (deze zullen in de toekomst veranderen) als in Riskeer zelf.

### Randvoorwaarden toekomstige assemblage

Het ligt buiten de scope van dit project om te schetsen hoe de assemblage er in de toekomst uit dient te zien. Wel kunnen we een aantal randvoorwaarden voor de assemblage van de toekomst meegeven op basis van de uitkomsten van dit project, namelijk:

#### Passend bij het doel

De assemblage dient een, voor het doel, zo correct en nauwkeurig mogelijke inschatting van de overstromingskans te geven, waarin het duidelijk is welke eventuele vereenvoudigingen worden gedaan en wat de impact hiervan is. Hierbij is het eerst zaak het doel van de assemblage vast te stellen, naar welke informatie en handelingsperspectief de gebruiker opzoek is voor bijvoorbeeld beoordelen, ontwerpen of continu inzicht. Hieruit volgen ook de randvoorwaarden zoals de gewenste nauwkeurigheid (een zo nauwkeurige mogelijke inschatting van de faalkans op basis van probabilistische analyses of een benadering). Hierbij kan worden gedacht aan een getrappt systeem waarbij eerst een conservatieve inschatting wordt gedaan op basis van een benadering, welke later mogelijk verfijnd kan worden.

#### Flexibel

De assemblage en de bijbehorende software dient flexibel te zijn, waarbij:

- Alle mechanismes meegenomen kunnen worden (completeheid).
- Zowel semi-probabilistische als probabilistische resultaten meegenomen kunnen worden.
- De assemblage goed aansluit bij de schematisering.
- Er modulariteit wordt toegepast, de data en de assemblage methode gescheiden zijn en externe resultaten gebruikt kunnen worden.
- Verschillende manieren van assemblage mogelijk zijn (met benadering zoals eerder beschreven of zonder benaderingen zoals de Combin routines uit VNK2).

- Er moet goed worden nagedacht hoeveel uniformiteit er wenselijk is en hoeveel vrijheid aan de gebruiker gelaten kan worden.
- De verschillende werkprocessen goed worden ondersteund (bijvoorbeeld uittredepuntenmethode, schematiseren op basis van zwakste doorsnede, etc.). Dit is niet alleen van belang binnen BOI, maar ook in een bredere context, bijvoorbeeld ontwerpen.

#### Uitlegbaar

De methode en uitkomsten van de assemblage zijn uitlegbaar, waarbij:

- Het duidelijk is wat er gebeurt in de assemblage in handleidingen.
- Er grenzen worden aangegeven om de resultaten te kunnen duiden in geval van ingewikkelde routines.
- Resultaten na te rekenen zijn met benaderingen.
- Resultaten aansluiten bij de ervaring van beheerders.

#### **Hybride instrumentarium**

Al met al vraagt dit een hybride (verschillende soorten invoer en assemblagemethodes worden ondersteunt) en flexibel instrumentarium met een werkproces wat een goede uitkomst ondersteunt (bijv. werken in teams, experimenteerterruimte). Zodat aan de drie bovenstaande randvoorwaarden kan worden voldaan.

De basis van dit instrumentarium zou hierbij een stramien moeten hebben waarbij je in meerdere richtingen kan combineren: zowel eerst naar mechanismekans als eerst naar vakkans (zie ook paragraaf 6.3). Hierbij zou je grof kunnen beginnen en inzoomen met meer geavanceerde mechanisme- of assemblagemethodes waar dit nodig is.

Het huidige instrumentarium biedt al mogelijkheden om zelf resultaten (doorsnedekansen, geassembleerde resultaten op faalmechanisme niveau) in te voeren (zie Hoofdstuk 2). Het bepalen van deze kansen en de koppeling met Riskeer wordt echter nog niet ondersteunt. Dit is wel wenselijk. Ook biedt het huidige instrumentarium nu niet de mogelijkheid om een gecombineerde vakkans te bepalen, zie paragraaf 6.3. In Deltares (2018) wordt uitgewerkt hoe je een faalpad probabilistisch kan combineren tot een totale faalkans.

## 6.4 Uitdagingen

Er zijn enkele uitdagingen welke aandacht behoeven voor de toekomst:

1. De balans tussen **nauwkeurigheid** en **uitlegbaarheid**. Idealiter is de assemblage in de toekomst zowel uitlegbaar als nauwkeurig. Maar dit kan ook ten koste van elkaar gaan: een faalkansbepaling op basis van probabilistische routines is nauwkeuriger, maar wordt ook meer als black-box ervaren. Wellicht dat dit opgelost kan worden met een gelaagd instrumentarium (eerst de kans bepalen met benaderingen, dan nauwkeurig) in combinatie met goede documentatie. Aandacht hiervoor is essentieel. Een heldere bepaling van het doel van de assemblage is hiervoor belangrijk. Het wordt met een helder doel beter uitlegbaar waarom voor een bepaalde nauwkeurigheid is gekozen.
2. Het **ruimtelijke beeld** van de veiligheid. In de huidige versie van Riskeer heeft elk faalmechanisme zijn eigen vakindeling. Dit staat uitgewerkt in Bijlage H. Het effect hiervan is dat je niet de combinatie van de verschillende faalmechanismes over een vak kan doen en dus niet de veiligheid van een vak kan bepalen (immers, 'het' vak bestaat niet, alleen in combinatie met een mechanisme). Terwijl voor beheerders het wel wenselijk kan zijn de gecombineerde mechanismekansen van een vak te kennen. VNK2 werkte wel met vaste vakken en ook in Hydra-Ring wordt met zogenaamde "presentation sections" gewerkt om vaste vakken te krijgen voor een faalkansbepaling, zie Figuur 6-1. Dit betekent dat de vakindeling in een "presentation section" moet passen. Ontwerpen gebeurt ook op basis van vakken. Ontwerpen en beoordelen zou dichter bij elkaar kunnen komen als ook bij de assemblage/Riskeer er vaste vakken zouden zijn – dat heeft echter gevolgen voor het werkproces van gebruikers. Het strekt tot aanbeveling hier

in het kader van de assemblage over na te denken en verschillende mogelijkheden uit te werken.

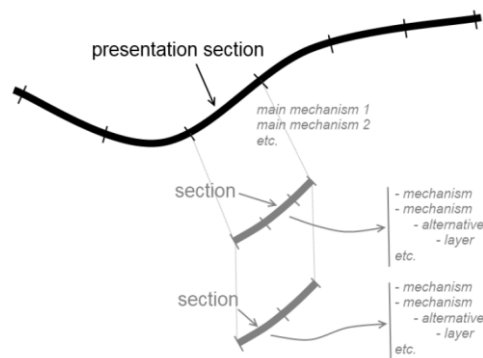


Figure 2.1: Visualization of the datamodel from a dike section perspective.

Figuur 6-1: Visualisatie "presentations sections" in HydraRing.

## 6.5 Aanbevolen vervolgacties

Over de suggesties voor **korte termijn** lijkt redelijk veel consensus, deze dienen vooral goed uitgedacht en geïmplementeerd te worden, in combinatie met gangbare kwaliteitsborging. De aanbeveling is vooral om deze suggesties snel op te pakken.

Voor de suggesties voor de **langere termijn** zijn er verschillende mogelijkheden en hebben we hier vooral de randvoorwaarden geschetst op basis van de uitkomsten van dit project, niet hoe de toekomstige assemblage er precies uit zou moeten zijn. Hiervoor moet er vanuit verschillende invalshoeken naar de toekomstige assemblage gekeken worden en is er een breed draagvlak nodig. De aanbeveling is om, met de resultaten van dit project als startpunt, één of meerdere lange termijn beelden te schetsen voor de assemblage in het algemeen en Riskeer in het bijzonder. En dan uit te werken hoe de weg hiernaartoe vorm gegeven kan worden. Belangrijk hierbij is om schetsontwerpen te maken van meerdere opties hoe de assemblage er uit kan zien. En deze vervolgens te bespreken met stakeholders (zie bijvoorbeeld de lijst met geïnterviewden, overheden, bedrijven en andere gebruikers en belanghebbenden). Om zo iteratief tot een breed gedragen projectplan voor de assemblage 2.0 te komen. Ondanks dat het een langere termijn actie is vanwege de doorlooptijd, is het wel belangrijk snel dit proces op te starten om zo snel mogelijk het doel van de assemblage scherp te krijgen.

# Bronnen

Deltares (2018). WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten. T. Schweckendiek. Deltares rapport 11202225-005.

Deltares, 2019. *WBI 2017 Assembleren, Functioneel Ontwerp Rekenkern*. Deltares, 11200574-001-GEO-0002, december 2019.

Deltares, 2021. Assemblageprotocol WBI2017 – Nadere uitwerking van het beoogde assemblageprotocol voor het wettelijke beoordelingsinstrumentarium. Deltares, 11205758-005, 11 mei 2021.

Deltares, 2022A. *BOI 2023 Assembleren, Functioneel Ontwerp Rekenkern*. Deltares, 11208058-000-GEO-0003, 17 maart 2022.

Deltares, 2022B. Faalpaden combineren rekening houdend met afhankelijkheden - Case traject 8-4. Rapport 11206817-005-GEO-0001, 06 juli 2022.

Rijkswaterstaat Projectbureau VNK (2012). FLOOD RISK IN THE NETHERLANDS VNK2: THE METHOD IN BRIEF. Document HB 1679805.

[https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132367/vnk\\_nader\\_verklaard\\_uk-lr\\_1.pdf](https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132367/vnk_nader_verklaard_uk-lr_1.pdf)

Rijkswaterstaat (2022). Handleiding overstromingskansanalyse. Versie 0.9, december 2022.

# A Analyse VNK resultaten

## A.1 Inleiding

In dit document zijn de resultaten van de VNK studie<sup>5</sup> (faalkansen per vak per faalmechanisme en de gecombineerde faalkansen) geanalyseerd om inzicht te krijgen in:

- De faalmechanismen waarvoor de aanname van volledig onafhankelijke / afhankelijke vakken goed werkt als een benadering voor het schatten van de gecombineerde faalkans.
- Hoe goed de aanname van onafhankelijke faalmechanismen werkt voor het inschatten van de overstromingskans van een dijkkring.

Het onderliggende doel van deze studie is, om op basis van de informatie uit de VNK, de aannames van de Assemblage van BOI te verifiëren en eventuele verbeterpunten te identificeren.

## A.2 Analyse

In dit hoofdstuk zijn de volgende analyses uitgevoerd:

1. **Per faalmechanisme** is de gecombineerde faalkans van de VNK studie vergeleken met de theoretische onder- en bovengrens:
  - De ondergrens is gelijk aan het maximum van alle faalkansen per vak, en correspondeert met de situatie van volledige afhankelijkheid van vakken:

$$P_{ondergrens} = \max\{P_{vak,i}\}$$

- De bovengrens is gelijk aan het volgende product van kansen per vak, en correspondeert met de situatie van volledige onafhankelijkheid van vakken:

$$P_{bovengrens} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{vak,i})$$

Deze analyse helpt om de faalmechanismen te identificeren waarvoor het bepalen van de onder- en bovengrens net zo goed werkt als het gebruiken van de volledig probabilistische aanpak (VNK).

2. De overstromingskansen **per dijkkring** uit de VNK studie zijn vergeleken met de overstromingskansen die verkregen worden door het beschouwen van de faalmechanismen als volledig onafhankelijk van elkaar. De aanname van de onafhankelijkheid wordt op dit moment in de Assemblage van BOI toegepast. Deze analyse heeft inzicht in de fout die gemaakt wordt door het beschouwen van faalmechanismen als onafhankelijk.

De volgende faalmechanismen zijn beschouwd: GEKB en bekledingen, STPH en STBI, kunstwerken (HTKW, BSKW, STKWp, PKW).

---

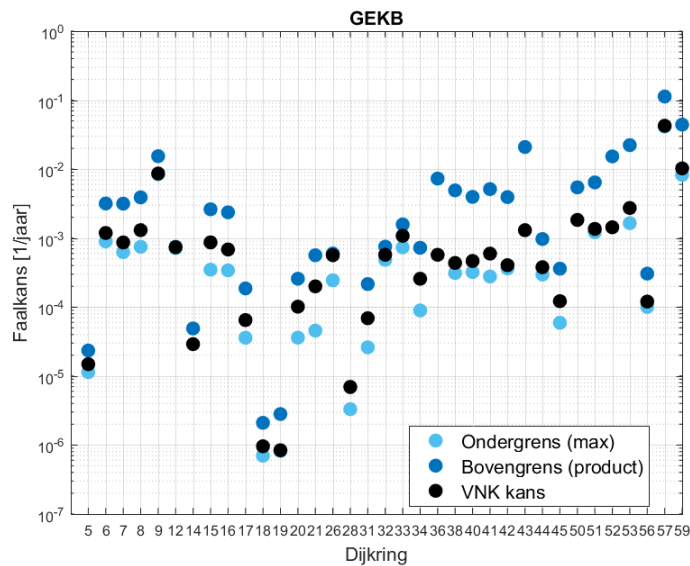
<sup>5</sup> Referentie sommen.

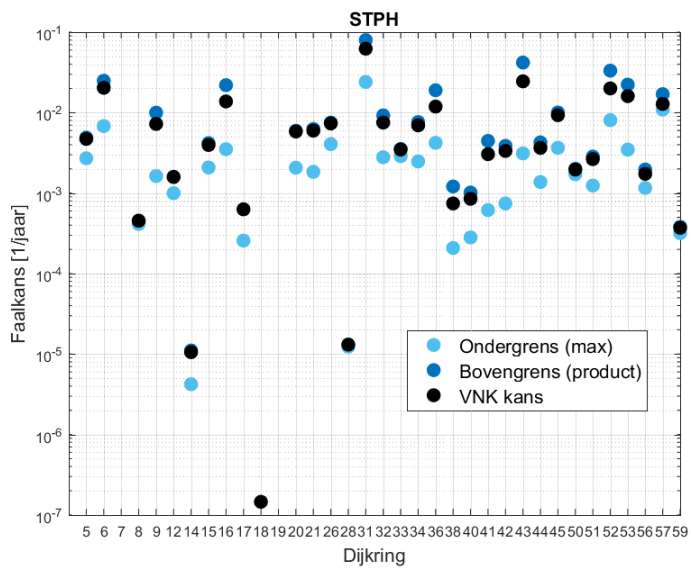
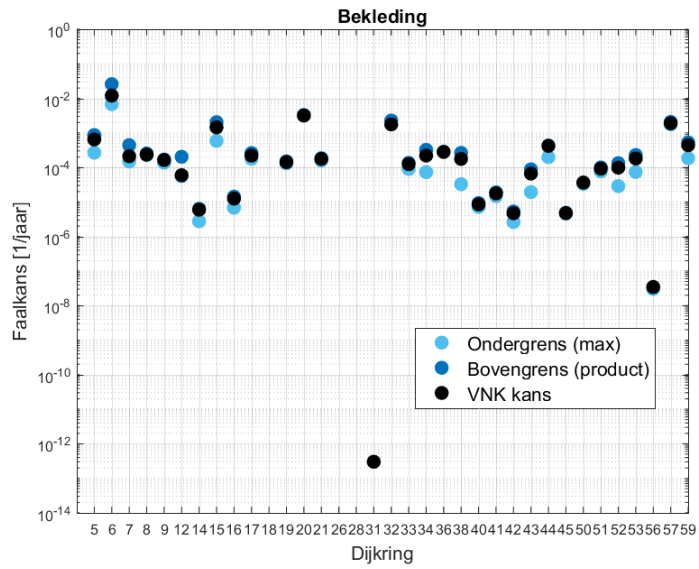


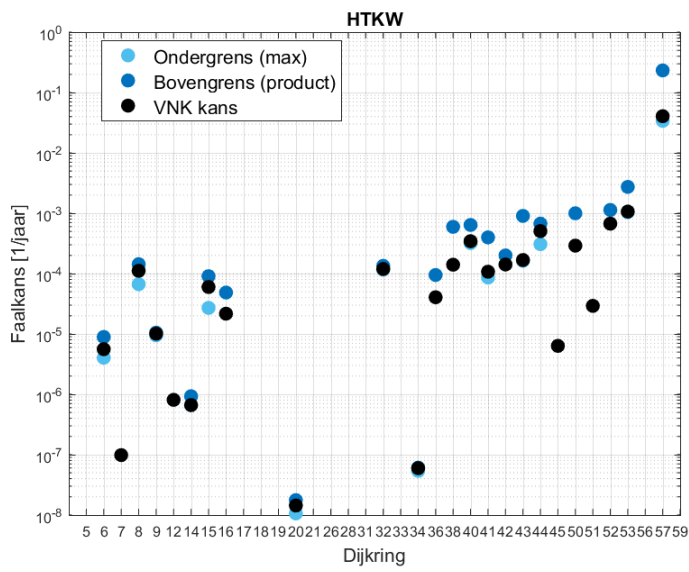
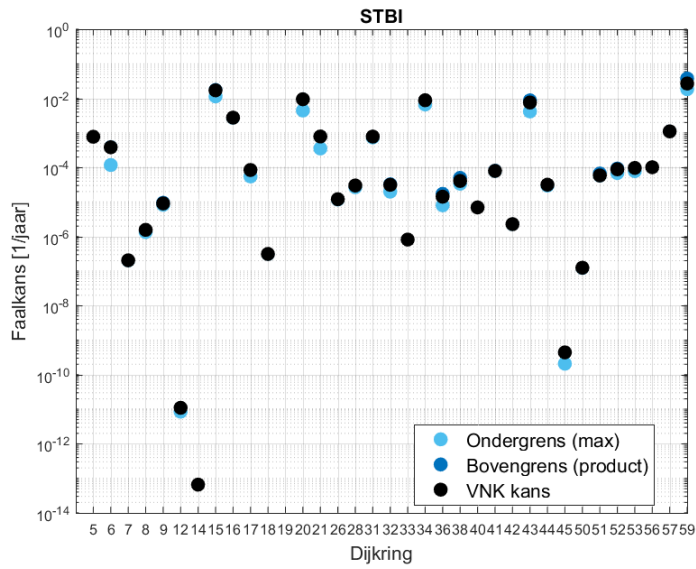
## A.3 Uitkomsten

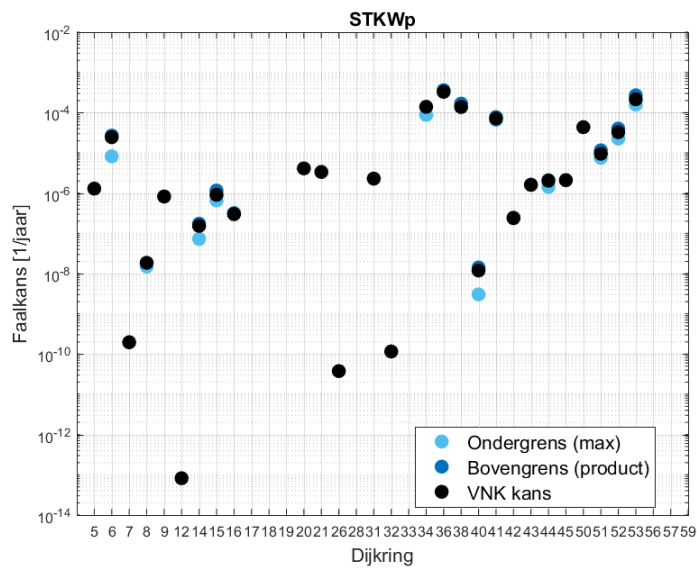
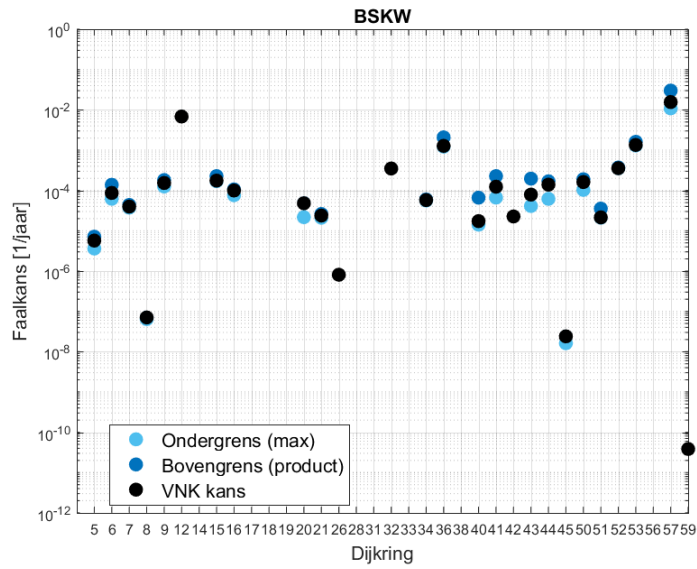
De volgende figuren geven een vergelijking tussen de faalkansen **per faalmechanismen** conform de VNK studie met de theoretische onder- en bovengrens. Niet voor alle dijkeringen is informatie beschikbaar. En voor de gevallen waar één punt zichtbaar is, liggen de 3 punten over elkaar. Uit de vergelijking volgt dat:

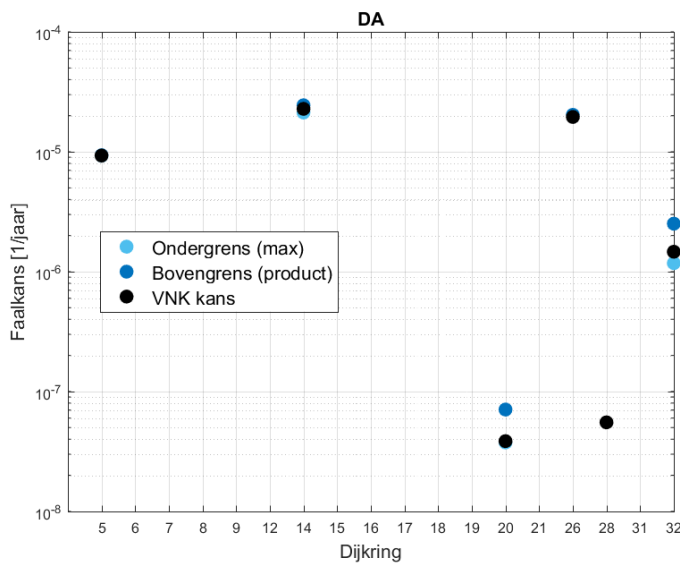
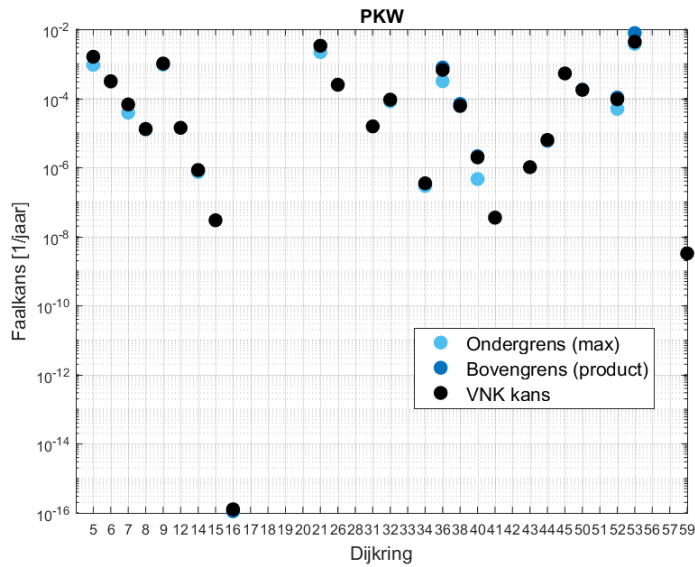
- STPH: de gecombineerde faalkansen conform VNK worden goed weergegeven met het product van de faalkansen per vak.
- Bekleding: geen eenduidig beeld, voor sommige dijkeringen ligt de gecombineerde faalkans conform VNK in de buurt van de ondergrens en voor sommige juist in de buurt van de bovengrens.
- Overige faalmechanismen: geen eenduidig beeld, de afstand tussen de onder- en de bovengrens is in het algemeen niet groot. Dat kan met de orde grootte van de faalkansen te maken hebben.
- GEKB en HTKW: gebruiken van het product van de faalkansen per vak leidt vaak tot een overschatting van de gecombineerde faalkans; de gecombineerde faalkansen conform VNK liggen vaak net boven de theoretische ondergrens (maximum van faalkansen per vak).



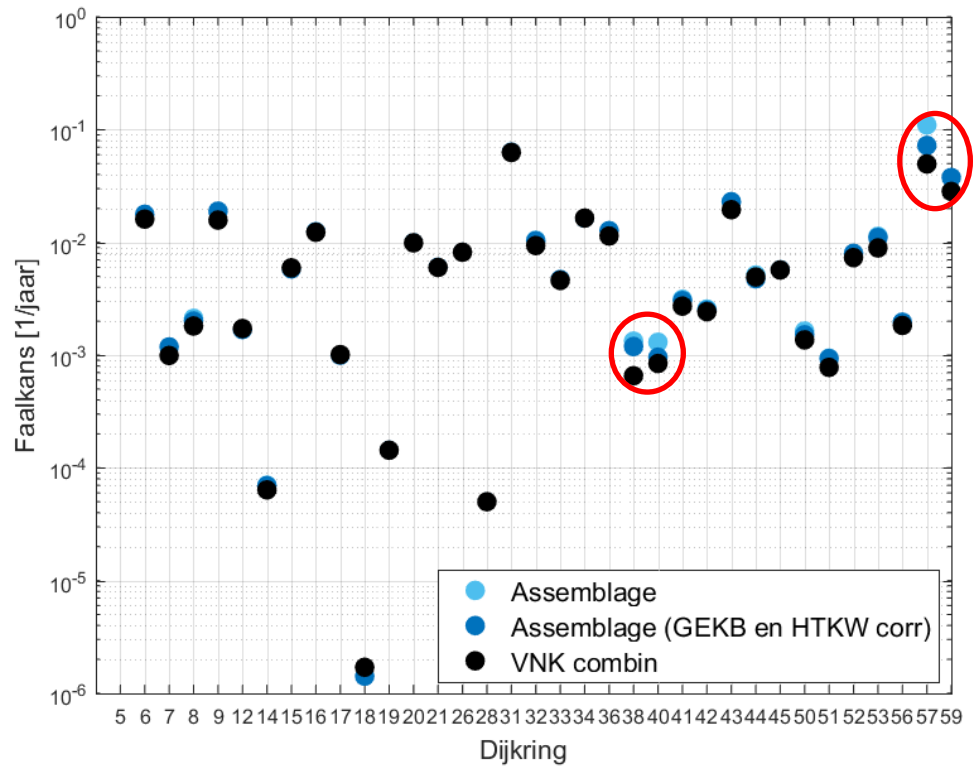








Het volgende figuur geeft een vergelijking tussen de overstromingskansen **per dijkring** uit de VNK studie en de overstromingskansen verkregen door het onafhankelijk beschouwen van de faalmechanismen (Assemblage). Uit de vergelijking komt naar voren dat het beschouwen van onafhankelijke faalmechanismen voor de meeste dijkringen goed werkt. Voor enkele gevallen (rood omcirkeld) leidt de aanname van onafhankelijkheid tot een overschatting van de overstromingskansen, maar de overschatting is niet aanzienlijk. In de analyse is er ook gekeken naar het beschouwen van GEKB en HTKW als volledig gecorreleerd in de Assemblage aanpak (en dan geldt het maximum van beide kansen). Dat leidt tot een kleine verbetering van de overstromingskansen in deze studie, dat kan te maken hebben met het feit dat er voor sommige dijkringen geen kunstwerken beschouwd werden in de VNK studie.



## A.4 Conclusies

Het volgende wordt geconcludeerd uit deze studie:

- Voor het faalmechanismen GEKB en HTKW leidt de aanname van onafhankelijke vakken vaak tot een overschatting van de gecombineerde faalkans. Voor deze faalmechanismen zou een faalkansschatting gebaseerd op het maximum van faalkansen per vak naar verwachting veel beter werken.
- Voor het faalmechanisme STPH wordt de gecombineerde faalkans goed benaderd door het onafhankelijk beschouwen van vakken.
- Het onafhankelijk combineren van faalkansen per faalmechanisme werkt goed. Het volledig correleren van GEKB en HTKW leidt tot een verbetering, maar de verbetering is niet groot. Dat kan echter te maken hebben met het feit dat er voor sommige dijkringen geen kunstwerken beschouwd werden in de VNK studie.

## B Combin in Hydra-Ring/Riskeer vs. VNK2

### B.1 Inleiding

Hydra-Ring is de probabilistische rekenkernel van Riskeer. Hydra-Ring wordt binnen Riskeer gebruikt om hydraulische belastingen en faalkansen per vak voor enkele faalmechanismen (STPH, GEKB en kunstwerken) te bepalen.

Naast de bovenstaande functionaliteiten is het met Hydra-Ring ook mogelijk om faalkansen per vak per faalmechanisme te combineren tot de overstromingskans van een dijktraject. Deze functionaliteit is echter nog niet beschikbaar in Riskeer. Het combineren van resultaten in Riskeer gebeurt op een pragmatische manier op basis van de Assemblage protocol.

Er bestaat een wens om het probabilistisch combineren van vakken en faalmechanismen met Hydra-Ring in Riskeer beschikbaar te stellen. Dat zou vooralsnog voor de enkele faalmechanismen kunnen. Het combineren van vakken en faalmechanismen in Hydra-Ring is gebaseerd op de VNK2 studie en gaat uit van presentatie secties. De faalkansen per presentatie sectie geven inzicht in de ligging van zwakke plekken. Bovendien zijn de faalkansen per presentatie sectie nodig om overstromingsrisico's te bepalen. Het concept van presentatie secties is echter nieuw voor BOI.

Dit document legt het idee van presentatie secties uit en geeft gevolgen voor het project BOI. In hoofdstuk 2 wordt het combineren van faalkansen conform Hydra-Ring (VNK2) en conform BOI naast elkaar gelegd. De conclusies voor project BOI worden in hoofdstuk samengevat.

### B.2 Probabilistisch combineren van faalkansen

#### B.2.1 Combineren van faalkansen in VNK en Hydra-Ring

Binnen de VNK studie werd een dijkkring eerst verdeeld in vakken, de zogenaamde "VNK vakken". Voor elk VNK vak werden er verschillende faalmechanismen beschouwd (indien van toepassing):

- Overslag.
- Piping (vaak meerdere sub-vakken per VNK vak).
- Macrostabieliteit.
- Bekledingen.
- Kunstwerken.
- Duinafslag.

De faalkansberekeningen werden per faalmechanismen voor elk VNK vak uitgevoerd. Deze faalkansen werden gecombineerd tot de faalkans van het vak. De faalkansen van alle vakken werden gecombineerd tot de overstromingskans van de dijkkring.

Hetzelfde concept was grotendeels overgenomen in Hydra-Ring, die op het model PC-Ring<sup>6</sup> gebaseerd is. Een dijktraject wordt verdeeld in *presentatie secties*. Binnen een presentatie sectie worden er verschillende faalmechanismen beschouwd. Elk faalmechanisme kan betrekking hebben op meerdere secties die binnen de presentatie sectie "passen". De faalkansberekeningen worden per sectie per faalmechanisme voor elke presentatie sectie uitgevoerd. Deze faalkansen worden gecombineerd tot de faalkans van de presentatie sectie. De faalkansen van alle presentatie secties worden gecombineerd tot de faalkans van het dijktraject.

---

<sup>6</sup> PC-Ring is een probabilistisch model, die in de VNK2 studie werd toegepast.

De tekst hieronder volgt uit het Functioneel ontwerp van Hydra-Ring.

## 2.4 Starting points and basic assumptions

The complete set of starting points and basis assumptions are collected in the *Uitgangspunten* document by de Waal and Knoeff (2014). This sections summarizes the main elements as far as data model aspects are concerned.

The core starting point of the safety assessment is the *dike ring*, since all primary flood defences in the Netherlands are subdivided into dike rings. On its turn, the dike ring is divided into tracks<sup>1</sup>. For each individual track, an individual safety standard is derived. The threat of a flood event is always induced by only one single water system (cf. section 2.7.2).

A track is subdivided into multiple *presentation sections*; a presentation section, on its turn, is subdivided into multiple *sections*. A section is defined as a part of the flood defence system with more or less homogeneous load and strength properties. A presentation section is defined as a section consisting of one or more combination sections, for the purpose of presenting the combined contribution from different mechanisms in case of a probabilistic analysis.

The interrelation between presentation sections and sections is visualized in Figure 2.1. A presentation section can be subdivided into sections in multiple ways that can exist next to each other. For instance, a presentation section can be divided into three sections for a specific mechanism, but meanwhile into two sections for another mechanism.

On a presentation section level, the mechanisms are known as *main mechanisms*. On a section level, the mechanisms are known just as *mechanisms*. On the level of an individual mechanism, subdivisions are facilitated as far as relevant for the mechanisms.

Optional main mechanisms are overtopping (dikes), piping (dikes), macrostability inwards (dikes), revetments (dikes), dune erosion (dunes) and structures. However, revetments are

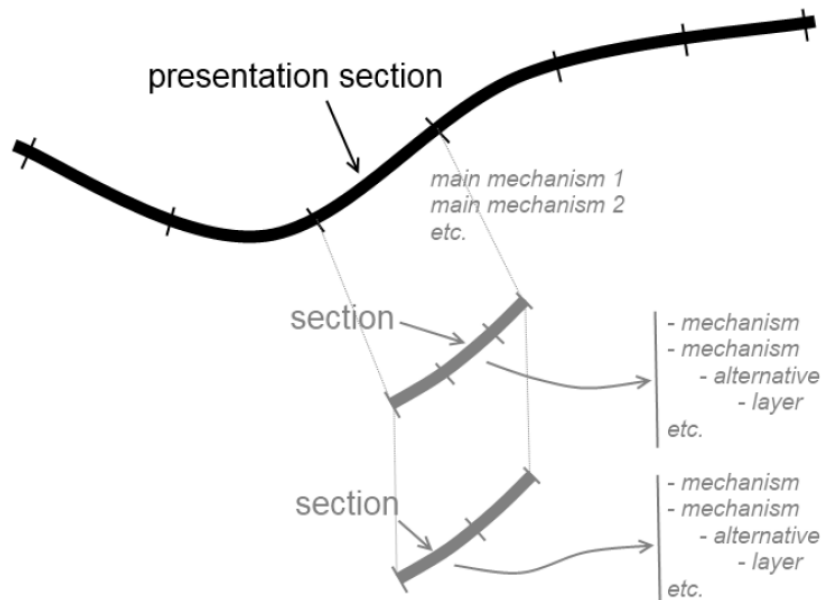


Figure 2.1: Visualization of the datamodel from a dike section perspective.



currently out of scope. As far as the main mechanism revetments are considered, distinction can be made between three separate mechanisms: stone revetments, grass revetments and asphalt revetments. The main mechanism ‘structures’ is the aggregation of overtopping (structures), non-closure (structures) and structural failure (structures). This distinction is made to enhance the numerical accuracy of the combination procedures.

The ‘alternative’-functionality offers the opportunity to compute, and combine, different scenario’s for geotechnical failure mechanisms, notably piping and macrostability inwards. The ‘layer’-functionality offers the opportunity to deal with with different layers of revetments, for a specific type of revetment, e.g. stone revetment. These aspects are further elaborated in section 3.3.

This whole setup of presentation sections, sections, main mechanisms, mechanisms, layers and alternatives is designed to enable the combination of individual computational results for any mechanisms for all sections.

### B.2.2 Combineren van faalkansen in BOI

Binnen een dijktraject heeft elk faalmechanisme een eigen vakindeling, de resultaten (faalkansen/duidingsklassen) worden in Riskeer per vak geregistreerd. Per faalmechanisme worden de faalkansen per vak gecombineerd tot de faalkans van het faalmechanisme. De faalkansen van de individuele faalmechanismen worden vervolgens gecombineerd tot de overstromingskans van het dijktraject.

De faalkansen per vak per faalmechanisme worden verdeeld in een van de duidingsklassen:

Duidingsklasse	Onderwaarde [1/jaar]	Bovenwaarde [1/jaar]
+III	0	$1/1000 \cdot P_{sign}$
+II	$1/1000 \cdot P_{sign}$	$1/100 \cdot P_{sign}$
+I	$1/100 \cdot P_{sign}$	$1/10 \cdot P_{sign}$
0	$1/10 \cdot P_{sign}$	$P_{sign}$
-I	$P_{sign}$	$P_{ow}$
-II	$P_{ow}$	$10 \cdot P_{ow}$
-III	$10 \cdot P_{ow}$	1
Do	n.v.t.	n.v.t.
NDo	n.v.t.	n.v.t.
NR	n.v.t.	n.v.t.

Het concept van “VNK vakken” of “presentatie secties” bestaat op dit moment niet binnen BOI. Inzicht in de zwakke plekken wordt verkregen met behulp van “deelvakken”. Deze worden bepaald door de vakindeling(en) van verschillende faalmechanismen binnen een dijktraject naast elkaar te leggen en op basis daarvan de kleinste gemeenschappelijke vakken te definiëren. Voor elke deelvak wordt de slechtste duidingsklasse bepaald, deze is gelijk aan de slechtste duidingsklasse van alle faalmechanismen binnen dat deelvak. Op basis daarvan worden de slechtste deelvakken in het hele traject geïdentificeerd. De figuur hieronder geeft een voorbeeld van de deelvakken en de slechtste duidingsklassen.

Trajectkaart		Veiligheidsdoel		Overzicht duiding		Resultaten versieren																	
	Metreering van* [m]	Metreering tot* [m]	STPH	GEKB	STBI	STMI	ZST	AGK	AWO	GEBU	GABU	GABI	HTKW	BSKW	PKW	STKWp	DA	New_1	New_2	Slechtste duidingsklasse per deelvak			
▶	0.00	471.12	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	471.12	886.99	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	886.99	1330.48	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	1330.48	1510.80	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	1510.80	1773.97	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	1773.97	2660.96	0	0	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	2660.96	3059.58	0	-1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	3059.58	3547.95	0	+1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	3547.95	3991.44	0	-1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	3991.44	4153.62	0	-1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	4153.62	4434.93	0	-1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	4434.93	4641.95	0	-1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		
	4641.95	5321.92	0	+1	NR	NR	NR	NR	NDo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0		

Het wordt opgemerkt dat het bepalen van de slechtste deelvakken op basis van de duidingsklassen niet helemaal correct is. Dat heeft met het lengte-effect te maken. Bijvoorbeeld, als een vak met de lengte van 900 m in 3 vakken wordt gesplitst (elk met de lengte van 300 m), en is de faalkans van het lange vak gelijk aan 1/1000 per jaar, dan zijn de kansen van de kortere vakken vaak kleiner dan 1/1000 per jaar. Een duidingsklasse geldt in eerste instantie voor 1 vak (per faalmechanisme). Als het vak in meerdere deelvakken wordt gesplitst, dan geldt de oorspronkelijke duidingsklasse niet noodzakelijk voor elk deelvak.

### B.2.3 Combineren faalkansen met Hydra-Ring voor BOI

Op dit moment ondersteunt Riskeer probabilistische berekeningen voor de volgende faalmechanismen:

- Piping (STPH).
- Gras erosie bekleding kruin en binnentalud (GEKB).
- Kunstwerken (HTKW, BSKW, STKWp).

Deze berekeningen worden met Hydra-Ring per vak/kunstwerk uitgevoerd. Het bepalen van de faalkans per faalmechanisme en op het trajectniveau gebeurt buiten Hydra-Ring en het is een onderdeel van de Assemblage.

Om Hydra-Ring (ofwel de Combin routine) te gebruiken voor combineren van vakken en faalmechanismen is het nodig om een dijktraject eerst in *presentatie secties* te verdelen. De vakken van individuele faalmechanismen dienen in de grenzen van de presentatie secties te vallen. Hieronder worden drie verschillende voorbeelden voor 2 faalmechanismen gegeven.

In voorbeeld A hebben beide faalmechanismen dezelfde vakindeling en deze correspondeert exact met de ligging van de presentatie secties. In voorbeeld B zijn er drie presentatie secties gedefinieerd. Deze corresponderen exact met de vakindeling van faalmechanisme 2.

Faalmechanisme 1 heeft vijf vakken, de eerste twee horen bij presentatie sectie i, het derde vak hoort bij presentatie sectie ii, de vierde en vijfde vak horen bij presentatie sectie iii. In voorbeeld C zijn er drie presentatie secties gedefinieerd. De vakken van faalmechanisme 1 passen precies in de verdeling van de presentatie secties. Voor faalmechanisme 2 is dat niet het geval: vak 2 valt namelijk tussen twee presentatie secties (ii en iii). In dit geval is het nodig om:

- De presentatie secties te herverdelen, of.
- De vakindeling van het tweede faalmechanisme aan te passen (door bijv. vak2 in twee kleinere vakken te splitsen).

### Vakindeling voorbeeld A

Presentation section	i	ii	iii	iv	v
Faalmechanisme 1	vak1	vak2	vak3	vak4	vak5
Faalmechanisme 2	vak1	vak2	vak3	vak4	vak5

### Vakindeling voorbeeld B

Presentation section	i		ii	iii	
Faalmechanisme 1	vak1	vak2	vak3	vak4	vak5
Faalmechanisme 2	vak1		vak2	vak3	

### Vakindeling voorbeeld C

Presentation section	i		ii	iii	
Faalmechanisme 1	vak1	vak2	vak3	vak4	vak5
Faalmechanisme 2	vak1		vak2	vak3	

#### *herverdelen vakindeling faalmechanisme 2*

Faalmechanisme 2	vak1	vak2.a	vak2.b	vak3
------------------	------	--------	--------	------

## B.3 Conclusies

Het volgende wordt geconcludeerd:

- Het is op dit moment met Riskeer niet mogelijk de verschillende faalmechanismes zo te combineren dat een faalkans per dijkvak wordt verkregen. Een mogelijkheid hiervoor kan zijn om, zoals in Hydra-Ring wordt toegepast, het concept presentatie-secties te gebruiken. Een beschrijving van presentatie-secties en enkele aandachtspunten is gegeven in deze bijlage.
- Het assembleren tot een faalkans per vak dient nog goed uitgedacht te worden. Naast de in deze bijlage beschreven presentatie-secties kan ook worden gedacht aan een kleinst gemeenschappelijke vak aanpak (met bijbehorende voor- en nadelen). Als presentatie-secties worden toegepast, dan zijn er onder meer volgende aandachtspunten:
  - Er ontbreken richtlijnen voor definiëren van presentatie secties. Hoe lang moeten ze zijn? Op basis van welke kenmerken worden ze gedefinieerd? De VNK2 studie kan hiervoor een handvat bieden.
  - De omgang met duidingsklassen.
  - De vakindeling van een individueel faalmechanisme met de presentatie secties te corresponderen (zie de drie voorbeelden boven). Dat heeft gevolgen voor het werkproces van gebruikers. De gebruikers (waterschappen) dienen zelf de presentatie secties te definiëren. Het is beter om dat vooraf aan de beoordeling te doen. Ook moeten de vakindeling(en) van individuele faalmechanismen erop zijn afgestemd; dat kan een iteratief proces zijn.

## C Analyse Helpdesk Water vragen

Er zijn 71 helpdeskwater vragen met zoektermen “Assemblage” en “Assembleren” geanalyseerd waarvan 28 vragen zijn beschouwd als relevant voor dit project. Verder zijn er meer vragen over het assembleren aan het begin van de beoordelingsronde gesteld dan later in het proces: 20 in 2017, 23 in 2018, 9 in 2018, 12 in 2020 en 7 in 2021).

De voor dit project relevante vragen zijn gebundeld rondom de volgende onderwerpen (het aantal vragen per onderwerp staat in de hakjes genoemd):

- Betrouwbaarheid assemblage (1).
- Correlaties (3).
- Faalkansbegroting (4).
- Indirecte faalmechanismen (8).
- Assembleren met meerdere HRD databases (5).
- Trajecten die bestaan uit meerdere lijnen (1).
- Omgaan met zwakke plekken (1).
- Omrekenen veiligheidsfactor naar categorie/faalkans (4).
- Omgaan met assembleren van duinen (1).

Hieronder wordt een korte samenvatting per onderwerp gegeven:

- **Betrouwbaarheid assemblage:** het betreffende vraag ging over de plausibiliteit van de assemblage resultaten voor toetsspoor STPH. De kans op het trajectniveau (= 1/9) werd door de gebruiker als onwaarschijnlijk beschouwd, omdat de kansen per vak veel kleiner waren (~ 1/40). In de reactie op deze vraag is het aan de gebruiker uitgelegd hoe het assemblage protocol gebruikt is en waarom is de trajectkans toch plausibel.
- **Correlaties:** de vragen hadden betrekking op het feit dat toetssporen GEKB en HTWK als onafhankelijk bij het assembleren beschouwd worden (maar in feite zijn beide mechanismen aan gecorreleerd). Voorgesteld is om dit op te lossen door bij het assembleren het maximum van de faalkansen van beide toetssporen mee te nemen. Dat is nog niet gedaan in de laatste versie van Riskeer.
- **Faalkansbegroting:** de betreffende vragen gingen over herverdelen van de faalkansruimte tussen STPH en STBI (dat mag in ToM), de faalkansbegroting voor bekledingen (waarom is de totale faalkansbegroting gelijk aan 105%), onduidelijkheid over de faalkansbegroting bij een dijk/duin traject.
- **Indirecte faalmechanismen:** de vragen gingen vooral over hoe indirecte faalmechanismen (zoals zettingsvloeiing, NWO's, VLGA, havendammen of instabiliteit teenbestorting) bij het assembleren meegenomen kunnen worden of hoe hydraulische belastingen voor de beoordeling van deze mechanismen berekend kunnen worden. Het meenemen van indirecte faalmechanismen bij het assembleren kan met behulp van scenario's in Riskeer.
- **Assembleren met meerdere HRD databases:** bij sommige trajecten worden er meerdere HRD databases gebruikt; voor dergelijke trajecten is echter het assembleren met Riskeer niet mogelijk (technisch probleem). Dat is nog niet in de laatste versie van Riskeer opgelost.
- **Trajecten die bestaan uit meerdere lijnen:** sommige trajecten hebben een referentie lijn die uit meerdere lijnen bestaat (bijv. trajecten met hoge gronden), voor dergelijke trajecten is echter het assembleren met Riskeer niet mogelijk (technisch probleem). Dat is nog niet in de laatste versie van Riskeer opgelost.
- **Omgaan met zwakke plekken:** het betreffende vraag ging over het omgaan met een afgekeurde kunstwerk in een traject die wel aan de norm voldoet. Reactie: dat kan als het

kunstwerk niet te zwaar is afgekeurd. Door naar alle mechanismen samen te kijken en de norm kan je eventueel wel het traject goedkeuren.

- **Omrekenen veiligheidsfactor naar categorie/faalkans:** de vragen hadden vooral betrekking op toetssporen uit groep 3 (bijv. bekledingen) en gingen over het omrekenen van een veiligheidsfactor naar een categorie / faalkans. De vragen waren in 2017 en 2018 gesteld, later waren dergelijke vragen niet meer gesteld, waarschijnlijk omdat er memo's en voorbeelden hierover beschikbaar zijn gesteld.
- **Omgaan met assembleren van duinen:** omgaan met assembleren in het geval van een trajecttype 'duin/kunstwerk'. Dergelijke type komt in Riskeer niet voor. Hier is een voorstel gemaakt hoe dit aangepakt kan worden.

Hieronder worden de relevante vragen weergegeven met het bijbehorend ontwerp en faalmechanisme.

Code	Jaar	Onderwerp	Faalmechanisme
21 06 1480	2021	Indirecte faalmechanisme	Zettingsvloeiing
21 02 1719	2021	Correlaties	GEKB en HTKW
17 05 2100	2017	Omrekenen veiligheidsfactor naar cat. / faalkans	GEBU
18 08 0331	2018	Faalkansbegroting	STPH en STBI
20 07 0107	2020	Omgaan met assembleren voor duinen	Duinen en kunstwerken
21 07 1413	2021	Omgaan met zwakke plekken	Kunstwerken
21 01 0626	2021	Correlaties	GEKB en HTKW
17 11 0463	2017	Omrekenen veiligheidsfactor naar cat. / faalkans	GEBU
18 01 0883	2018	Omrekenen veiligheidsfactor naar cat. / faalkans	Kunstwerken piping
18 08 1899	2018	Faalkansbegroting	Bekledingen
18 09 1487	2018	Meerdere HR databases	Algemeen
17 12 0642	2017	Indirecte faalmechanisme	NOW's
18 08 2297	2018	Faalkansbegroting	Bekledingen
21 09 0245	2021	Trajecten die bestaan uit meerdere lijnen	Algemeen
17 05 1352	2017	Indirecte faalmechanisme	NOW's
20 12 2417	2020	Faalkansbegroting	Duinen
19 09 0529	2019	Meerdere HR databases	Algemeen
18 12 1725	2018	Meerdere HR databases	Algemeen
18 10 1540	2018	Indirecte faalmechanisme	Havendammen
18 09 1745	2018	Indirecte faalmechanisme	VLGA
18 09 1555	2018	Indirecte faalmechanisme	VLGA

Code	Jaar	Onderwerp	Faalmechanisme
18 09 0457	2018	Indirecte faalmechanisme	VLGA
19 09 0529	2019	Meerdere HR databases	Algemeen
20 04 0593	2020	Betrouwbaarheid assemblage	STPH
20 02 2107	2020	Indirecte faalmechanisme	Instabiliteit teenbestorting
17 11 0463	2017	Omrekenen veiligheidsfactor naar cat. / faalkans	GEBU
21 02 1719	2021	Correlaties	GEKB en HTKW
18 12 1725	2018	Meerdere HR databases	Algemeen

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)