



# Een kwetsbaarheidsanalyse van het Hoofdwatersysteem voor wateroverlast

EEN KWALITATIEVE SCAN VAN DE KWETSBAARHEID VAN DRIE PEILGEREGULEERDE WATERSYSTEMEN VOOR EXTREME NEERSLAG

SCHLEIPFENBAUER, B.C.J.

**UNIVERSITY  
OF TWENTE.**



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

*EEN KWALITATIEVE SCAN VAN DE KWETSBAARHEID VAN DRIE PEILGEREGULEERDE  
WATERSYSTEMEN VOOR EXTREME NEERSLAG*

---

AUTEUR

Bent Schleipfenbauer

S1727389

b.c.j.schleipfenbauer@utwente.nl

+31 6 308 656 31

---

BEGELEIDEND- EN ONDERWIJSINSTITUUT

Rijkswaterstaat: afd. Water, Verkeer en Leefomgeving

Universiteit Twente

---

BEGELEIDERS

Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving: Drs. E.J. van Mulligen, Dr. M. Blaas

Universiteit Twente: Dr. Ir. D.C.M. Augustijn

---

EXAMENCOMMISSIE

Universiteit Twente: Dr. Ir. D.C.M. Augustijn

Universiteit Twente: S. Siebelink MSc, PDEng

## SAMENVATTING

De wereld om ons heen wordt steeds warmer. De klimaatveranderingen hebben naast impact op de temperatuur, ook impact op de hoeveelheid neerslag. Om de kwetsbaarheden in beeld te brengen als gevolg van wateroverlast worden stresstesten uitgevoerd op het Hoofdwatersysteem. Hierbij wordt uitgegaan van een worst-case scenario, met maximale belasting op het systeem door extreme neerslag als gevolg van toename in het volume, frequentie en de intensiteit van neerslagevents.. Deze kwetsbaarheidsanalyse wordt ook gebruikt om een gemeenschappelijk kader te vormen voor systeembeheerders en om een beeld te krijgen of het systeem deze toekomstige scenario's aan zal kunnen en welke onderdelen het meest gevoelig zijn.

De hoofdonderzoeksvraag van het onderzoek luidt:

*“Wat zijn de kwetsbare objecten en kanaalpanden binnen watersystemen wanneer deze extreme neerslag ondervinden en zijn deze met een systematische methode in kaart te brengen?”*

Voor het onderzoek is gekeken naar drie watersystemen waar het waterpeil gereguleerd wordt. Falen treedt op wanneer de peilen niet meer gehandhaafd kunnen worden met scheepvaartstremming (door lage bruggen of afvoer door de sluis) of het overstromen van kades en keringen als gevolg. Het peil wordt gereguleerd omwille van de doorgang van scheepvaart. Deze heeft baat bij een niet te hoog peil vanwege bruggen over het kanaal en een niet te laag waterpeil omwille de vaardiepte van de kanalen. De drie watersystemen zijn:

1. 'Twentekanalen (TK)'
2. 'Midden-Limburgse- en Noord-Brabantse kanalen (BLK)'
3. 'Amsterdam Rijnkanaal-Noordzeekanaal (ARK-NZK)'

Voor deze watersystemen is er gekeken wat een 48 uur durende bui met een neerslaghoeveelheid van 135 mm voor impact heeft op het watersysteem. Voor deze analyse is uitgegaan van een worst-case scenario, wat inhoudt dat rekening wordt gehouden met externe factoren die invloed hebben op de afvoercapaciteit van peil-regulerende objecten binnen het watersysteem. Om de kwetsbaarheid van watersystemen te bepalen is binnen dit onderzoek een systematische methode ontworpen. Deze methode stelt aan de hand van een aantal indicatoren de mate van gevoeligheid van het watersysteem voor extreme neerslag vast en de impact van de resulterende wateroverlast.

De methode bestaat uit een drietal stappen die per systeem doorlopen zijn om op deze manier tot een overzicht van de kwetsbaarheden binnen de watersystemen te komen.

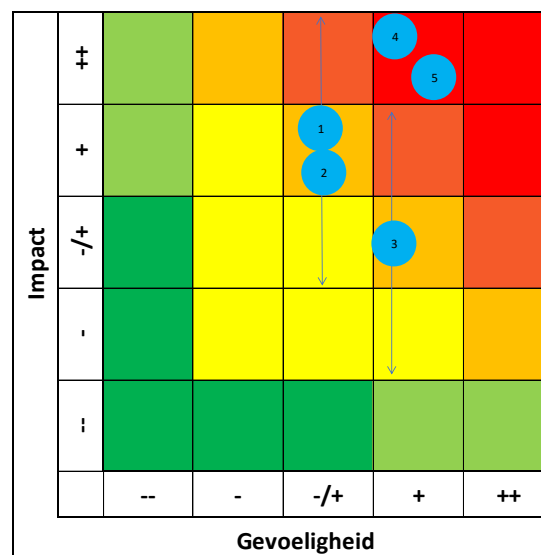
- **Stap 1: Systeemverkenning**  
Binnen deze stap is er gekeken naar kenmerken van het systeem die een rol spelen bij stijging van het waterpeil en wateroverlast. Per watersysteem is bepaald welke objecten zich in het systeem bevinden, welk peilbeheer wordt toegepast door de systeembeheerder en wat het effect van 135 mm neerslag in 48 uur op het waterpeil van het systeem is.
- **Stap 2: Kwetsbaarheidsanalyse**  
Binnen de kwetsbaarheidsanalyse is de verzamelde systeem informatie gebruikt om de kwetsbaarheid van de systemen te bepalen. Kwetsbaarheid wordt binnen het onderzoek als volgt gedefinieerd:

$$Kwetsbaarheid = Impact * Gevoeligheid$$

Waarin 'Impact' de gevolgen van wateroverlast zijn en 'Gevoeligheid' de gevoeligheid van het watersysteem voor extreme neerslag is. Deze eigenschappen zijn per watersysteem bekeken om de kwetsbaarheid van de kanalen te bepalen.

- **Stap 3: Validatie bevindingen**  
Om te voorkomen dat vertekende conclusies getrokken worden, zullen de diagrammen gepresenteerd worden aan de risicobeheerders in een interview. Gedurende het interview is de toetsingsmethode voorgelegd, de gebruikte data en referenties om te voorkomen dat verkeerde informatie gebruikt of gegenereerd wordt.

Het is middels de ontwikkelde methode gelukt om kwetsbaarheden binnen het Hoofdwatersysteem in kaart te brengen. Binnen de conclusie zijn de meest kwetsbare onderdelen van het Hoofdwatersysteem weergegeven in een diagram. Op de assen van het diagram staan de impact en gevoeligheid van de onderdelen van het watersysteem.



**Figuur 1 Kwetsbaarheidsdiagram grootste kwetsbaarheden**  
 1 :Pand Sluis 4-Schijndel (Brabantse Kanalen)  
 2: Pand Sluis Schijndel-Hintham-Poeldonk (Brabantse Kanalen)  
 3: Pand Sluis II-I (Brabantse Kanalen)  
 4: Grote Pand (Brabantse Kanalen)  
 5: Amsterdam-Rijnkanaal

## VOORWOORD

Gedurende mijn stage en onderzoek bij Rijkswaterstaat ben ik door een aantal mensen geholpen en gesteund. Zonder hen was mijn onderzoek niet mogelijk geweest. Als eerste wil ik mijn stagebegeleiders Meinte Blaas en Ellen van Mulligen bedanken voor de steun en feedback gedurende en voor aanvang van mijn onderzoek. Zonder de brainstormsessies met Meinte zal ik niet de progressie geboekt hebben die nu in dit onderzoek opgeschreven staat. Ellen van Mulligen heeft mij gedurende mijn stage welkom laten voelen op de afdeling en binnen Rijkswaterstaat, waar ik haar erg dankbaar voor ben. Daarnaast ben ik hen zeer dankbaar voor de feedback op de vele iteraties van stageverslagen, resultaten en bezoeken door het hele land.

Naast mijn stagebegeleiders van Rijkswaterstaat wil ik Denie Augustijn bedanken voor de feedback en hulp tijdens mijn stage bij Rijkswaterstaat. De momenten van feedback op de universiteit, op Rijkswaterstaat Westraven en over de mail hebben mij verder geholpen met het onderzoek en met het scheppen van duidelijkheid binnen mijn verslag.

Ik wil ook de volgende personen bedanken voor de tijd die zij hebben vrijgemaakt om zich beschikbaar te stellen voor een of meerdere interviews, en daarmee mij verder te helpen in mijn onderzoek: Robin Engel en Peter Mulder van Rijkswaterstaat Oost Nederland, Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel van Rijkswaterstaat Zuid Nederland, Meinou Kok en Cristel de Zwaan van Rijkswaterstaat West-Nederland Noord, Hilga Sikma en Rob Tijsen van Waternet. Zonder hen had ik nooit de nodige inzichten in het systeem verkregen.

Ik ben Rijkswaterstaat en de afdeling Water, Verkeer en Leefomgeving erg dankbaar voor de kans om daar mijn bachelorstage en mijn onderzoek uit te voeren. Daarvoor gaat mijn dank vooral uit naar Meinte Blaas, Ellen van Mulligen en Daan Dunsbergen.

## INHOUD

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting.....                                                                     | 2  |
| Voorwoord .....                                                                       | 4  |
| 1 Introductie .....                                                                   | 7  |
| 1.1 Probleemstelling.....                                                             | 7  |
| 1.2 Introductie tot het onderzoeksgebied .....                                        | 9  |
| 1.3 Effecten klimaatverandering op wateroverlast.....                                 | 10 |
| 2 Doelstelling en onderzoeksvragen .....                                              | 12 |
| 2.1 Doelstelling.....                                                                 | 12 |
| 2.2 Onderzoeksvragen.....                                                             | 12 |
| 3 Methode van beoordelen kwetsbaarheid Hoofdwatersysteem .....                        | 13 |
| 3.1 Stap 1: Systeemverkenning .....                                                   | 14 |
| 3.2 Stap 2: Kwetsbaarheidsanalyse van de systemen .....                               | 15 |
| 3.3 Stap 3: Validatie bevindingen.....                                                | 23 |
| 4 Kwetsbaarheidsanalyse van de Twentekanalen.....                                     | 24 |
| 4.1 Systeemverkenning Twentekanalen .....                                             | 24 |
| 4.2 Peilbeheer Twentekanalen.....                                                     | 25 |
| 4.3 Bepaling aanvoer op de Twentekanalen .....                                        | 25 |
| 4.4 Resultaten Kwetsbaarheidsanalyse Twentekanalen .....                              | 27 |
| 5 Kwetsbaarheidsanalyse van de Noord-brabantse en Midden-Limburgse kanalen.....       | 28 |
| 5.1 Systeemverkenning Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen .....               | 28 |
| 5.2 Peilbeheer Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen.....                       | 30 |
| 5.3 Bepaling aanvoer op Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen.....              | 30 |
| 5.4 Resultaten Kwetsbaarheidsanalyse Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen..... | 31 |
| 6 Kwetsbaarheidsanalyse van Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal .....               | 34 |
| 6.1 Systeemverkenning Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal .....                     | 34 |
| 6.2 Peilbeheer Amsterdam-Rijnkanaal - Noordzeekanaal .....                            | 35 |
| 6.3 Bepaling aanvoer Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal .....                      | 35 |
| 6.4 Resultaten Kwetsbaarheidsanalyse Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal.....       | 36 |
| 7 Discussie .....                                                                     | 38 |
| 7.1 Onnauwkeurigheid binnen gegevens en berekeningen.....                             | 38 |
| 7.2 Onnauwkeurigheid binnen beoordeling kwetsbaarheid.....                            | 38 |
| 7.3 Beperkingen van het onderzoek .....                                               | 39 |
| 8 Conclusies en Aanbevelingen .....                                                   | 40 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.1 Conclusies.....                                                                  | 40 |
| 8.2 Aanbevelingen.....                                                               | 41 |
| Verwijzingen.....                                                                    | 42 |
| Bijlage .....                                                                        | 45 |
| Bijlage A – KNMI’14-klimaatscenario’s.....                                           | 45 |
| Bijlage B - Beoordeling gevoeligheidsindicatoren .....                               | 46 |
| Bijlage C – Berekenen kwetsbaarheid Twentekanalen .....                              | 47 |
| Bijlage D – Berekenen kwetsbaarheid Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen..... | 50 |
| Bijlage E – Berekenen kwetsbaarheid Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal.....       | 65 |
| Bijlage F – Peilmarges hoofdwatersysteem .....                                       | 68 |

## 1 INTRODUCTIE

### 1.1 PROBLEEMSTELLING

De wereld wordt steeds warmer. Wereldwijd is de temperatuur gemiddeld gezien +0.9 °C gestegen sinds 1951 (KNMI, 2019) en dit zal hoogstwaarschijnlijk toenemen tot een toename van +1,5 °C tussen 2030 en 2052 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). Een van die effecten op onze directe omgeving is dat neerslag zal toenemen (STOWA, 2018). Naast een toename in intensiteit en volume zullen extreme neerslaggebeurtenissen steeds frequenter optreden (Deltacommissaris, 2017). Een toename in neerslag zal meer druk geven op de aanvoerende watersystemen in stedelijk en landelijk gebied. Dit waterbezwaar zal uiteindelijk afwateren op het Nederlandse Hoofdwatersysteem (HWS). De watersystemen zullen onder een steeds grotere druk komen te staan, een druk waarop zij mogelijk niet ontworpen zijn.

Het Deltaprogramma is een nationaal programma met als doel het land voor te bereiden op de consequenties van klimaatveranderingen (Deltacommissaris, 2019). Het Deltaplan “Ruimtelijke Adaptatie” (DPRA) is sinds 2018 onderdeel van het Deltaprogramma (Stichting Climate Adaptation Services, 2019), met de focus op wateroverlast, droogte, hitte en gevolgbepierking van overstromingen door klimaatverandering. Het doel van DPRA is om een ruimtelijke inrichting van Nederland te bereiken voor het jaar 2050 die bestand is tegen klimaatverandering (KBN - Rijkswaterstaat, 2019). Dit zal gedaan worden door het integreren van een klimaatbestendige wijze van denken en handelen binnen beleid, beheer en uitvoering van projecten vanaf het jaar 2020. DPRA verplicht overheidsinstellingen zoals gemeentes, provincies en het Rijk om afspraken en plannen te maken over dit onderwerp vanaf het jaar 2020 (Deltacommissaris, 2017).

Om de kwetsbaarheden in beeld te brengen worden stresstesten uitgevoerd op het Hoofdwatersysteem. Hierbij wordt uitgegaan van een worst-case scenario, met maximale belasting op het systeem door extreme neerslag als gevolg van toename in het volume, frequentie en de intensiteit van neerslagevents (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015). Hiervoor zijn standaarden ontwikkeld door DPRA om de kwetsbaarheid onderling te kunnen vergelijken (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2019). Deze kwetsbaarheidsanalyses worden gebruikt om een gemeenschappelijk kader te vormen voor systeembeheerders en om een beeld te krijgen of het systeem deze toekomstige scenario's aan zal kunnen en welke onderdelen het meest gevoelig zijn.

Met deze kwetsbaarheden in beeld wordt in een later stadium een risicodialoog aangegaan met stakeholders om tot een beeld van de risico's te komen, een prioritering van deze risico's op te stellen en mogelijke oplossingsrichtingen te verkennen. In het vervolgtraject worden de opgaven en uitvoeringsagenda's opgesteld op basis van de gezamenlijk vastgestelde ambities om een klimaatbestendig systeem te bereiken. De basisdoelen van DPRA hebben Rijkswaterstaat aangespoord om het 'Klimaatbestendige Netwerken' (KBN) project te initiëren (Rijkswaterstaat WVL, 2018). In het KBN programma worden de kwetsbaarheden van de netwerken van Rijkswaterstaat (Hoofdwegennet, Hoofdvaarwegennet, Hoofdwatersysteem) in beeld gebracht op basis van klimaatscenario's, geprojecteerd voor het jaar 2050 (Deltacommissaris, 2017).

De kwetsbaarheidsanalyse van het Hoofdwatersysteem is nog niet uitgevoerd, en het is niet duidelijk welke kwetsbaarheden in welk systeem zitten. Om binnen het Hoofdwatersysteem de watersystemen onderling te kunnen vergelijken dient er een methode ontwikkeld te worden om



kwetsbaarheden binnen een systeem en tussen systemen onderling met elkaar te vergelijken. Kwetsbaarheden worden binnen dit onderzoek beschouwd als knelpunten binnen het Hoofdwatersysteem. Dit zijn kanaalpanden of objecten die wateroverlast ondervinden door extreme neerslag. Wateroverlast is het gevolg van het falen van het watersysteem door langdurige neerslag. Dit houdt in dat het bergende watersysteem het overschot aan regenwater niet meer kan afvoeren wat resulteert in schade, overlast of falen van het systeem.

## 1.2 INTRODUCTIE TOT HET ONDERZOEKSGBIED

Het Nederlandse Hoofdwatersysteem is het onderzoeksgebied van dit onderzoek. Rijkswaterstaat beheert-, reguleert- en verbetert waterkwaliteit en waterkwantiteit binnen het Hoofdwatersysteem en voorziet het land van bescherming tegen overstromingen. Het Hoofdwatersysteem omvat meer dan 5.000 km<sup>2</sup> zoet oppervlaktewater zoals rivieren, kanalen, meren en de Delta (Rijkswaterstaat, 2014). Een overzicht van het Hoofdwatersysteem is weergegeven in Figuur 1. Het Hoofdwatersysteem wordt beheerd door Rijkswaterstaat, het uitvoerend agentschap van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Rijkswaterstaat, 2019). Rijkswaterstaat reguleert het gebruik van het systeem met het oog op waterveiligheid, waterkwaliteit, onttrekkingen en lozingen, scheepvaart, recreatie en andere activiteiten (Rijkswaterstaat, 2014). De organisatie monitort het water binnen het systeem zodat er ingegrepen kan worden wanneer het waterpeil kritiek wordt, de kwaliteit van het water in het geding komt of andere calamiteiten dreigen plaats te vinden.



Figuur 2 Hoofdwatersysteem van Nederland

Voor het onderzoek is gekeken naar drie watersystemen waar het waterpeil gereguleerd wordt. Falen treedt op wanneer de peilen niet meer gehandhaafd kunnen worden met scheepvaartstremming (door lage bruggen of afvoer door de sluis) of het overstromen van kades en keringen als gevolg. Het peil wordt gereguleerd omwille de doorgang van scheepvaart. Deze heeft baat bij een niet te hoog peil vanwege bruggen over het kanaal en een niet te laag waterpeil omwille de vaardiepte van de kanalen

Binnen het HWS zal er gekeken worden naar drie subsystemen:

- 'Twentekanalen (TK)'
- 'Midden-Limburgse- en Noord-Brabantse kanalen (BLK)'
- 'Amsterdam Rijnkanaal-Noordzeekanaal (ARK-NZK)'

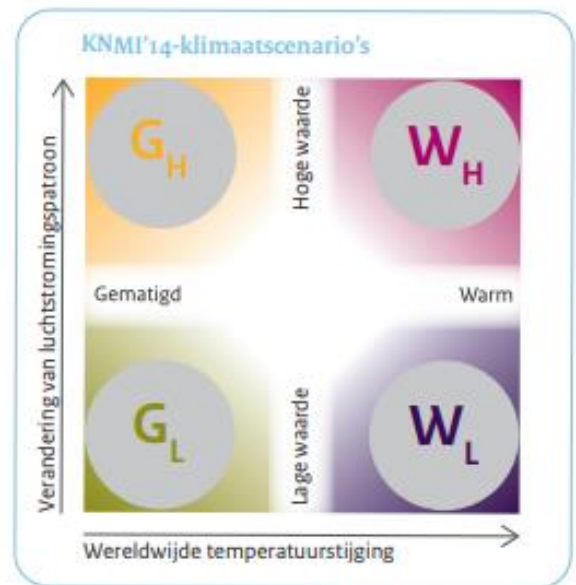
Deze peilen worden, gedurende de periode waarin de peilbesluiten actief zijn, gehandhaafd door oppervlaktewater regulerende objecten zoals gemalen, stuwen, inlaten, duikers en spuisluizen gedaan (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2008). Wanneer aanvoeren op het systeem toenemen door extreme neerslag kan hier reactief op worden gehandeld door het verlagen van het peil of, met oog op schade, juist afgewenteld worden op een waterlichaam benedenstrooms. Een toename van waterkwantiteit binnen een subsysteem kan immers resulteren in een stijging van waterpeil met uittredend water, stremming van scheepvaart of schades als gevolg. Directe schades als verzakkingen, waterschade, kortsluiting of onbereikbaarheid worden buiten beschouwing

gelaten. Integrale analyse van diverse dreigingen en verder kwantitatief maken van faalkansen en gevolgen valt buiten de scope van dit onderzoek.

De uitdaging van dit onderzoek ligt in de heterogeniteit van de regio's. Elk van de systemen heeft zijn eigen geografische, hydrologische en hydraulische eigenschappen met elk unieke stakeholders als een eigen beheer. Het effect van een toename in neerslagvolume door klimaatveranderingen zal per systeem anders zijn, zo kunnen sommige systemen ruimer gedimensioneerd zijn dan anderen.

### 1.3 EFFECTEN KLIMAATVERANDERING OP WATEROVERLAST

Om het effect van klimaatveranderingen op temperaturen-, droogte- en buien binnen Nederland inzichtelijk te maken, zijn trends in deze grootheden uitgewerkt in de zogenaamde "KNMI'14 klimaatscenario's" (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015). Dit is een rapport uitgebracht door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), waarin de wereldwijde klimaatveranderingen vertaald zijn naar klimaatscenario's voor Nederland. Het 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC) levert daartoe de input van de, door de mensheid beïnvloede, klimaateffecten op een mondiale schaal (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2015). In de KNMI scenario's voor Nederland is met regionale klimaatmodellen het effect van de opwarming van de aarde toegespitst op Europese en Nederlandse omstandigheden (KNMI, 2019). De door het KNMI bepaalde klimaatscenario's en de desbetreffende effecten op het Nederlands klimaat zijn te vinden in Bijlage A.



Figuur 3 Overzicht van de vier klimaatscenario's

Een kanttekening hierbij is dat het onderzoek de focus legt op een indicatieve duiding van kwetsbaarheid. De precieze verschillen tussen 1/100, 1/250 en 1/1000 scenario's zijn secundair van aard, door de grove benadering van het onderzoek. De focus richt zich op welke onderdelen van het systeem gevoelig zijn voor extreme neerslag, niet gebaseerd op een numeriek model. De ordegrrootte van neerslag is 100-160 mm in 48 uur tijd.

Voor dit onderzoek wordt een neerslagstandaard van een bui met herhalingstijd en neerslaghoeveelheid van 135 mm in 48 uur gehanteerd zoals in Figuur 3 aangegeven staat. Deze neerslaghoeveelheid dient gebruikt te worden als standaard voor het uitvoeren van stresstesten op de schaal van regionale watersystemen (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2019). De getallen tussen

| toepassingsgebied                                | neerslag duur (uur) | herhalingstijd (1/n jaar) | neerslag hoeveelheid (mm) huidig klimaat | neerslag hoeveelheid (mm) klimaat 2050 | initiele condities (grond)watersysteem |
|--------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| stedelijk gebied, hellend gebied, kleine polders | 1                   | 100                       | 60                                       | 70                                     | n.v.t.                                 |
|                                                  |                     | 250                       | 75                                       | 90                                     |                                        |
|                                                  | 2                   | 1000                      | 130                                      | 160                                    |                                        |
| landelijk gebied, regionaal watersysteem         | 48                  | 100                       | 100 (115)                                | 120 (135)                              | GG, gemiddeld belast systeem           |
|                                                  |                     | 100                       | 100 (115)                                | 120 (135)                              | GHG, vol systeem                       |
|                                                  |                     | 250                       | 115 (140)                                | 130 (165)                              | GG, gemiddeld belast systeem           |
|                                                  |                     | 1000                      | 135 (190)                                | 160 (220)                              | GG, gemiddeld belast systeem           |

Figuur 4 Gestandaardiseerde neerslagscenario's

haakjes in Figuur 3 zijn de voorspellingen naar de meest recente inzichten. GHG staat voor “Gemiddelde hoogste grondwaterstand”. Maaiveldhoogtes en grondwaterhoogtes worden niet in deze eerste stresstest meegenomen.

De DPRA standaard focust zich op de directe gevolgen van extreme neerslag. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar de gevolgen van beperkte afvoer en bergingscapaciteit in bebouwde omgeving en in landelijk gebied (water op straat, water in huis, water op het land). Daarnaast biedt de standaardisatie ruimte om effecten van uittredend en afstromend water uit een regionaal watersysteem door te rekenen of kwalitatief te analyseren.

Een toename van neerslagvolume tijdens buien heeft niet alleen een effect op de neerslag op het watersysteem. Dit betekent ook dat aanvoeren vanuit afwaterende gebieden op het kanaal zelf zal toenemen. Voor het evalueren van de effecten van de hoeveelheid neerslag op het systeem, bepaald voor het klimaat van het jaar 2050, zijn er een aantal stappen te doorlopen die kunnen leiden tot wateroverlast en falen van het systeem:

1. Extreme neerslag

Extreme neerslag vindt plaats op stedelijk en landelijk gebied. Dit water kan zorgen voor lokale wateroverlast zoals het uittredend rioolwater, overstromingen in stedelijk gebied of water op land. Uiteindelijk zal dit via afwatersystemen resulteren in wateraanvoer op het regionale watersysteem. Deze aanvoeren zullen veel groter zijn dan normaal als resultaat van extreme neerslag. Dit waterbezwaar zal via sloten, beken en kanalen terechtkomen op het watersysteem.

2. Stijging van waterpeil binnen het watersysteem

De som van aanvoeren op het systeem samen met het waterbezwaar door neerslag op het oppervlaktewater, zal ook resulteren in een stijging van het waterpeil. Dit zal gebeuren wanneer de totale instroom groter is dan de uitstroom. De eerder bepaalde Piekaanvoeren zullen hiervoor vergeleken worden met de afvoercapaciteiten van sluiskolken, aflatwerken en spuiwerken.

3. Falen van het systeem

Functies van het systeem kunnen mogelijk falen als het bergend volume, preventieve maatregelen of afvoercapaciteiten niet voldoende zijn om het waterbezwaar op te vangen of af te voeren. Functies zoals scheepvaart of veiligheid zijn gekoppeld aan gegeven waterpeilen. Mocht het waterpeil deze gegeven waterpeilen bereiken, dan zal scheepvaart gestremd worden en andere corresponderende functies falen. Falen betekent niet voldoen aan beheersbare of beïnvloedbare functionele eisen t.a.v. waterveiligheid, waterkwantiteitsbeheer en scheepvaart.

## 2 DOELSTELLING EN ONDERZOEKSVRAGEN

### 2.1 DOELSTELLING

Om te onderzoeken of de bestaande waterpeil-regulerende objecten binnen het hoofdwatersysteem deze toename in wateroverlast aan kan zal dit onderzoek dienst doen als eerste scan. Het eerste doel van deze studie is dan ook om een algemene methode te ontwikkelen waarmee de kwetsbaarheid van verschillende watersystemen voor extreme neerslag (onderling) met elkaar vergeleken kunnen worden. Het tweede doel van dit onderzoek is om een eerste scan van kwetsbaarheden van de drie systemen uit te voeren.

Het doel van de methode is om op een systematische manier een eerste beeld te krijgen van onderdelen van het HWS die gevoelig blijken voor extreme neerslag en de gevolgen van wateroverlast. Dit zal worden gedaan aan de hand van gevoeligheids- en impactsindicatoren. Wanneer gevonden kwetsbaarheden herkend worden door de experts van de watersystemen zal er een eerste stap gezet zijn richting een inventaris van kwetsbaarheden.

### 2.2 ONDERZOEKSVRAGEN

De hoofdvraag van het onderzoek luidt:

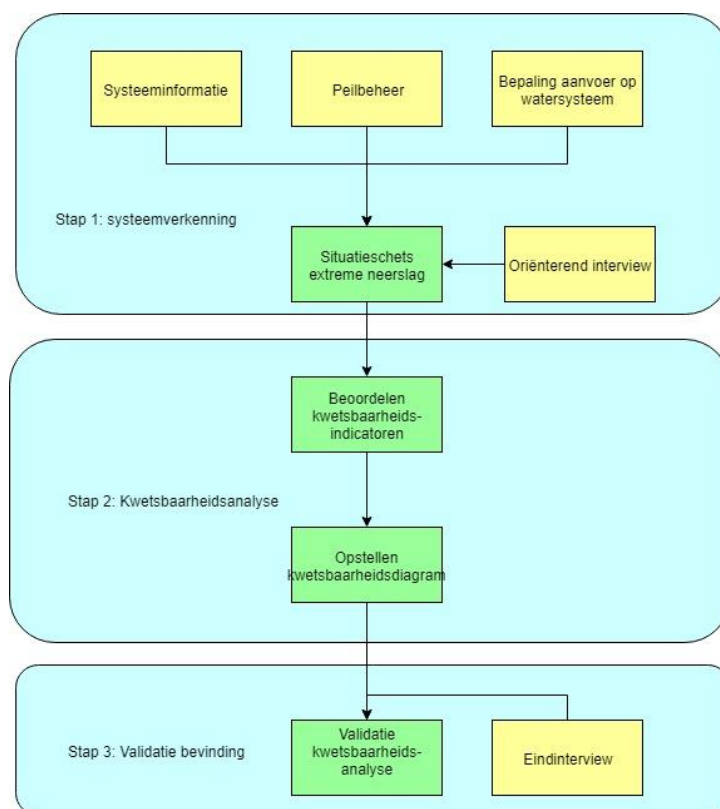
*Wat zijn de kwetsbare objecten en kanaalpanden binnen watersystemen wanneer extreme neerslag optreedt en zijn deze met een systematische methode in kaart te brengen?*

De hoofdvraag kan opgesplitst worden in een aantal deelvragen:

- 1) Wat is het effect van extreme neerslag op de drie subsystemen van het HWS?**
    - a) Hoe vertaalt de neerslagsom van 135 mm zich tot een waterbezwaar?*
    - b) Welke eigenschappen van het systeem spelen een rol bij peilstijging en wateroverlast?*
    - c) Welke systeemonderdelen hebben invloed op het bergend vermogen of het waterpeil?*
  - 2) Hoe effectief zijn de maatregelen om wateroverlast binnen de subsystemen te voorkomen ?**
    - a) Welke maatregelen zouden getroffen kunnen worden om peilstijging te voorkomen?*
    - b) Wat is de effectiviteit van waterpeil-regulerende objecten en maatregelen op het waterpeil binnen het subsysteem?*
  - 3) Hoe wordt de kwetsbaarheid van een subsysteem beoordeeld?**
    - a) Hoe wordt de gevoeligheid voor wateroverlast van een subsysteem bepaald?*
    - b) Hoe wordt de impact van wateroverlast van een systeem bepaald?*
-

### 3 METHODE VAN BEOORDELEN KWETSBAARHEID HOOFDWATERSYSTEEM

Voor dit onderzoek zijn drie verschillende systemen onderzocht. Deze drie systemen liggen elk in een ander gedeelte van het land: De Twentekanalen liggen in Overijssel en Gelderland, Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen liggen in Noord-Brabant en Limburg en Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal liggen in Utrecht en Noord-Holland. De systemen zijn divers van aard: deze diversiteit komt onder andere door de geografische ligging, betrokken partijen en beheer, peilbeheer en indeling van het systeem. Gegeven de heterogeniteit van de systemen en diversiteit aan bestaande informatie zijn deze systemen in eerste instantie niet gemakkelijk te vergelijken. Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden is er voor dit onderzoek een systematische kwetsbaarhedenanalyse ontwikkeld om volgens een logisch stappenplan deze vragen te kunnen beantwoorden. Deze methode is ontwikkeld om de onderzoeksvragen per systeem te beantwoorden en zo de kwetsbaarheden binnen het Hoofdwatersysteem te bepalen. Op deze manier worden de onderzoeksvragen per watersysteem beantwoord, en daarmee de kwetsbaarheden binnen het Hoofdwatersysteem gevonden. Het stappenplan van de kwetsbaarhedenanalyse is te vinden in Figuur 4. In paragraaf 3.1 tot 3.3 zijn de verschillende stappen toegelicht. Binnen de stappen van de methode zal ook toegelicht worden welke onderzoeksvragen beantwoord worden.



Figuur 5 Systematische kwetsbaarheidsanalyse

### 3.1 STAP 1: SYSTEEMVERKENNING

De eerste stap is de verkenning van het systeem. Van elk van de drie watersystemen zijn drie zaken geïnventariseerd:

1. Systeeminformatie

De systeemeigenschappen die een rol spelen bij peilstijging en wateroverlast zijn voornamelijk in (technische) onderzoeksrapporten en modellen te vinden. Door te analyseren hoe het watersysteem in elkaar zit, zal het duidelijker worden welke objecten bekeken moeten worden en hoe deze zich tot elkaar verhouden. De systeeminformatie is de basis voor het eerste interview met de experts. Het doel van dit interview is om het systeem beter te leren kennen en om te voorkomen dat het watersysteem verkeerd geïnterpreteerd wordt. Eigenschappen hiervan zijn de afvoerende objecten van een systeem, de capaciteit van de objecten, maximale aanvoeren uit afwaterende gebieden en oppervlakten van kanaalpanden. De objecten die vastgelegd zijn in peilbesluiten en waterakkoorden, waarna de bevindingen gevalideerd worden tijdens gesprekken met de experts van de regio om te voorkomen dat objecten worden overgeslagen.

In deze stap worden onderzoeksvragen 1b en 1c beantwoord.

2. Peilbeheer

Het peilbeheer van het watersysteem betreft de handhaving van het waterpeil binnen het watersysteem. Het peilbeheer staat vastgelegd in peilbesluiten en waterakkoorden gesloten met de regio. Als beheerder van de watersystemen is Rijkswaterstaat verplicht één of meerdere peilbesluiten op te stellen, waarin een streefpeil en bandbreedten tussen een minimum en maximum waterpeil worden vastgelegd (Raad van State, 2009). Door erachter te komen hoe het waterpeil beheerd wordt en wat de marges rond het streefpeil zijn, zal het bergend volume en daarmee de “ademruimte” van het watersysteem bepaald worden. Uit het peilbeheer zal ook duidelijk worden welke preventieve maatregelen getroffen kunnen worden om te anticiperen op een peilstijging door extreme neerslag. In deze stap worden onderzoeksvragen 2a en 2b beantwoord.

3. Bepaling aanvoer op watersysteem

Om te weten wat het effect van 135 mm neerslag in 48 uur tijd op het waterpeil is, wordt er gekeken naar directe en indirecte afvoer op het systeem. Onder directe afvoer wordt het effect van neerslag op het oppervlaktewater, in relatie tot peilstijging bekeken. Naast directe neerslag op het systeem zijn er ook indirecte aanvoeren door extreme neerslag op het systeem. Dit komt niet zozeer door neerslag op het kanaal maar door aanvoeren uit afwaterende systemen. Hiervoor wordt er gekeken naar de hoeveelheid water die door een bovenstrooms kanaal wordt afgevoerd op het systeem en naar de aanvoeren van afwaterende gebieden. Er wordt uitgegaan van een maximale belasting door de gestandaardiseerde neerslaghoeveelheid van 135 mm in 48 uur die hoort bij de T100 bui in 2050 (Figuur 4, pagina 10). Q100 aanvoeren, aanvoeren die eens in de 100 jaar optreden, worden in dit onderzoek direct gelinkt aan een T100 bui. In deze stap wordt onderzoeksvraag 1a beantwoord.



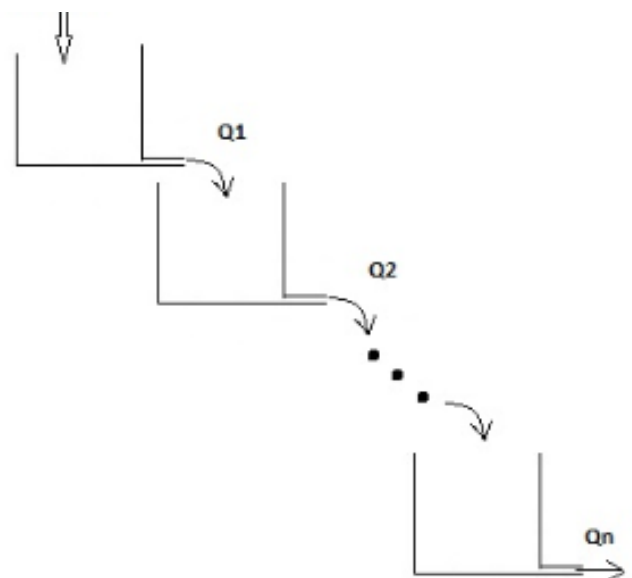
### 3.2 STAP 2: KWETSBAARHEIDSANALYSE VAN DE SYSTEMEN

Uit “Stap 1” worden de kenmerken van het systeem afgeleid, die informatie levert over de kwetsbaarheid van het systeem door extreme neerslag en de impact van het falen, mocht dit optreden. Om de kwetsbaarheid van een systeem te meten wordt de gevoeligheid van het watersysteem voor extreme neerslag en de impact van deze gevolgen bepaald aan de hand van een aantal indicatoren. Om de kwetsbaarheid van een systeem te bepalen wordt deze goed vastgesteld. Definitie:

*“De kwetsbaarheid van een systeem zal worden gedefinieerd door te bepalen hoe gevoelig een watersysteem is voor extreme neerslag en daarmee wateroverlast, en door te bepalen wat de gevolgen van wateroverlast zijn op het kanaal. Wanneer een watersysteem gevoelig is voor wateroverlast betekent dit bijvoorbeeld dat het waterpeil van het systeem binnen de gegeven tijdsduur van de bui buiten het functionerend waterpeil komt”.*

Gezien de beperkte doorlooptijd en de wens om van grof naar fijn te werken is het niet haalbaar om van elk gebied een numeriek model te maken. Aan de hand van de in Stap 1 bepaalde eigenschappen van het systeem zal het watersysteem gemodelleerd worden tot een opeenvolging van bakken. Hierin staat een waterbak voor een compartiment van een watersysteem zoals weergegeven in Figuur 5.

Deze kanaalpanden ontvangen water (aanvoer) in de vorm van directe neerslag en aanvoeren uit de regio, welke de aanvoersom vormt die geborgen en afgevoerd moet worden in het watersysteem. De waterafvoer van een systeem wordt bepaald door de objectspecificaties en aflatmogelijkheden, samen met preventieve maatregelen in het reguliere waterbeheer om op extreme neerslag te anticiperen. Het waterpeil zal immers toenemen wanneer de wateraanvoer groter is dan de waterafvoer.



Figuur 6 Steady state bakjesmodel  
Bron: Wikipedia-“Runoff model (reservoir)”

De kanaalpanden zijn versimpeld gemodelleerd om een indruk te krijgen van een orde van grootte van de totale kwetsbaarheid van het systeem. Het idee achter deze eerste verkenning is immers om een eerste beeld te schetsen van de kwetsbaarheden en de prioriteiten vast te stellen, om tijdens een vervolgonderzoek gebruik te maken van deze prioritering. De kanaalpanden ondervinden piekaanvoeren uit de regio die niet zullen veranderen. Een uitgangspunt van dit scenario is dat de regio direct, zonder vertraging, aanvoert op het systeem en deze aanvoeren maximaal zijn en niet toenemen. Dit wordt gedaan om een beeld te krijgen van het handelingsperspectief tijdens een worst-case situatie. Deze maximale waterhoeveelheden zijn vastgesteld in waterakkoorden en gelimiteerd door de afvoercapaciteit van objecten.



Het bakjesmodel vormt de basis van deze methode om kwetsbaarheden bloot te leggen van het systeem. Elk bakje staat voor een kanaalpand van het Hoofdwatersysteem. De aan- en afvoer op het watersysteem speelt een rol in de toename van het waterpeil maar daarnaast zijn er nog een aantal kenmerken die een beeld schetsen van de gevoeligheid voor extreme neerslag. Het scenario dat hierboven is geschetst is het scenario waarin het watersysteem inhoudelijk de wateraanvoer niet kan compenseren met waterafvoer. Naast dit scenario zijn er een tweetal andere scenario's die ook geëvalueerd worden om het handelingsperspectief van het kanaal en het falen van een of meerdere afvoerende objecten te analyseren. De drie scenario's die bekeken zullen worden zijn:

1. Faalscenario 1: Onvoldoende afvoercapaciteit

In dit scenario voert de regio maximaal aan op het watersysteem, samen met de directe neerslag op het kanaalpand. Tegelijkertijd voeren de objecten maximaal af, waardoor de netto aanvoer op het bakje het waterpeil zal doen stijgen. Externe factoren als hoge buitenwaterstanden zullen in alle scenario's meegenomen worden. Sommige objecten hebben een gelimiteerde afvoercapaciteit hierdoor, en zijn dus vereist om mee te nemen in een worst-case scenario. Wanneer het waterpeil de bovengrens van het streefpeil bereikt, en dus niet binnen de marges van het streefpeil behouden kan worden, ten tijde van regulier peilbeheer zal het systeem als gefaald beschouwd worden. De peilmarges van de drie watersystemen staan in Bijlage F.

2. Faalscenario 2: Falen van waterafvoer

Wanneer een deel van de afvoerende capaciteit niet meer beschikbaar is, door bijvoorbeeld een calamiteit of het niet functioneren van het object, is er een soortgelijke situatie. Dit zal betekenen dat het waterpeil sterker zal toenemen dan de initiële situatie met werkende afvoer. Dit is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de verhouding tussen de bergingsruimte van het kanaalpand ten opzichte van de totale aanvoer op het systeem.

3. Herstelscenario 3: Het verlagen van het waterpeil door regulier peilbeheer als nazorg van wateroverlast

In dit scenario wordt uitgegaan van maximale afvoer en geen aanvoer. De bereikte bovengrens van het systeem zoals in Scenario's 1-2 zal binnen dit scenario weer tot streefpeil verlaagd worden om het systeem in haar functioneren te herstellen. Deze hersteltijd geeft een beeld van het handelingsperspectief opgenomen in regulier peilbeheer en is daarmee inherent verbonden met het ontwerp van het systeem. Ook geeft deze hersteltijd een indicatie van de benodigde tijd om het waterpeil preventief te doen zakken als reactie op naderende extreme neerslag. Des te langer het duurt om te herstellen, des te langer het duurt voordat scheepvaart en andere functies van het systeem hervat kunnen worden.

Aan de hand van deze scenario's wordt een inzicht verkregen hoe snel het systeem reageert op extreme neerslag en de invloed van het regulier beheer op het peil en daarmee een indicatie van de kwetsbaarheid van het systeem. Om een oordeel te geven over de impact van hoogwater zal er gekeken worden naar het effect van het bereiken van de bovengrens van het streefpeil. Deze schade wordt niet uitgedrukt in Euro, maar wordt kwalitatief beoordeeld door per gebied te bekijken of er een gebied onder water zal lopen, scheepvaart gestremd zal raken of er mogelijk slachtoffers zouden kunnen vallen. In Hoofdstuk 3.2.3 wordt toegelicht hoe de impact beschrijvend beoordeeld wordt.

De volgende systeemkenmerken zijn gebruikt als input om de gevoeligheidsindicatoren op te stellen:

- Neerslag op het systeem

Dit is voor elk bekeken systeem hetzelfde zijn. Voor het onderzoek wordt er uitgegaan van een neerslag van 135 mm in 48 uur tijd. Deze neerslag zal het directe waterbezwaar op het watersysteem zijn. Gezien de bui valt over het gehele watersysteem (Figuur 3) wordt deze neerslaghoeveelheid, 0,135 m in 48 uur tijd, vermenigvuldigt met het totaaloppervlak om tot een totale aanvoer door neerslag te komen.

$$N = \frac{0,135 \text{ m}}{48 \text{ uur} * 3600 \frac{s}{\text{uur}}} = 7,813 * 10^{-7} \frac{m}{s} \quad (1)$$

$$Q_{\text{Neerslag}} = N * A_s \quad (2)$$

Hier is N de neerslaghoeveelheid in [m/s]. Wanneer deze vermenigvuldigd wordt met  $A_s$  [m<sup>2</sup>], de oppervlakte van het kanaal, wordt de directe neerslag op het systeem bepaald. Deze zal per kanaalpand berekend worden.

- Bergingsruimte  $V_{\text{berging}}$

De bergingsruimte  $V_{\text{berging}}$  [m<sup>3</sup>] wordt bepaald door de initiële waterhoogte  $h_0$  [m] boven NAP, de oppervlakte van het kanaal  $A_s$  en de maximale waterhoogte  $h_{\text{max}}$  [m] boven NAP.  $V_{\text{berging}}$  is de totale berging binnen het watersysteem. Voor  $h_0$  is aangenomen dat de initiële waterhoogte gelijk is aan het streefpeil van het kanaal. Hier wordt van afgeweken wanneer binnen het regulier peilbeheer, als reactie op naderend noodweer, voormalen van het waterpeil wordt toegepast. Het kanaal is gezien als een rechthoekige bak, zonder verhang. Er is niet worden gekeken naar alternatieve maatregelen zoals het laten vollopen van boezems elders.

$$V_{\text{berging}} = A_s * (h_{\text{max}} - h_0) \quad (3)$$

- Totale aanvoer  $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$

De totale aanvoer  $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$  [m<sup>3</sup>/s] is samengesteld uit drie verschillende aanvoeren zoals is bepaald in stap 1 van de systeemverkenning. De wateraanvoer wordt bepaald door  $Q_{\text{neerslag}}$ , aanvoer door afwaterende gebieden als resultaat van de extreme neerslag  $Q_{\text{aanvoer}}$  en door  $Q_{\text{bovenstrooms}}$ , de wateraanvoer van een kanaalpand dat bovenstrooms afvoert op het kanaal.  $Q_{\text{aanvoer}}$  is de som van alle afwaterende gebieden van het systeem.

$$Q_{\text{tot\_aanvoer}} = Q_{\text{neerslag}} + Q_{\text{aanvoer}} + Q_{\text{bovenstrooms}} \quad (4)$$

- Totale afvoer  $Q_{tot\_afvoer}$

De totale afvoer  $Q_{tot\_afvoer}$  [ $m^3/s$ ] is de totale afvoer die tijdens regulier beheer wordt afgevoerd door peilgereguleerde objecten van het kanaal. Deze wordt als constante aangenomen, onafhankelijk van het waterepeil. Deze  $Q_{tot\_aanvoer}$  hoeft niet de maximum capaciteit te zijn aangezien noodmaatregelen die de capaciteit vergroten buiten regulier beheer vallen. De objecten binnen het kanaal en bijbehorende capaciteit zijn bepaald in stap 1 van de systeemverkenning.

$$Q_{tot\_afvoer} = Q_{afvoer\_object1} + Q_{afvoer\_object2} + \dots + Q_{afvoer\_objectX} \quad (5)$$

$$Q_{max} = Q_{tot\_afvoer} + Q_{extra} \quad (6)$$

$Q_{max}$  [ $m^3/s$ ] is de maximum afvoercapaciteit van een kanaal en  $Q_{extra}$  [ $m^3/s$ ] is de extra afvoercapaciteit die als noodmaatregel inzetbaar is tijdens hoogwater. Voorbeelden hiervan zijn het heffen van sluisdeuren of spuien door de kolk. Dit kan betekenen dat scheepvaart op het kanaal niet meer mogelijk is en is daarom enkel als noodmaatregel ingezet.

- Capaciteitstekort  $Q_{verschil}$

Het capaciteitstekort  $Q_{verschil}$  [ $m^3/s$ ] geeft aan hoeveel afvoer het kanaal tekort komt om de totale aanvoer te compenseren. Dit tekort is het netto wateroverschot wat het kanaalpand zal vullen.

$$Q_{verschil} = Q_{tot\_aanvoer} - Q_{tot\_afvoer} \quad (7)$$

### 3.2.1 GEVOELIGHEIDSINDICATOREN

Aan de hand van de hierboven geschetste scenario's zijn er een aantal gevoeligheidsindicatoren opgesteld om te beoordelen hoe gevoelig een watersysteem is voor extreme neerslag. Deze gevoeligheidsindicatoren zijn kentallen van waterpeil-regulerende objecten en het bergend lichaam, die een indicatie geven hoe gevoelig het betreffende onderdeel is voor peilstijging en daarmee falen door extreme neerslag. De gevoeligheidsindicatoren geven de mogelijkheid om peil-regulerende objecten binnen een watersysteem onderling te vergelijken en deze als kwetsbaar te bestempelen.

- Tijdsduur tot volledige benutting van berging met reguliere afvoer (Scenario 1)

Deze tijdsduur geeft aan hoe lang het zou duren totdat de bergingsruimte van het bergend waterlichaam totaal is benut. Voor de initiële hoogte wordt uitgegaan van het streefpeil, in de watersystemen waar in regulier beheer wordt voorgemalen zal dit lager liggen, dit om de totale bergingsruimte van het kanaalpand maximaal te benutten. Deze tijdsduur zegt iets over de verhouding van het capaciteitstekort ten opzichte van de beschikbare bergingsruimte.

$$T_{bergen} = \frac{V_{berging}}{Q_{verschil}} \quad (8)$$

$T_{\text{bergen}}$  [uur] is de tijd tot 100% benutting van de bergingsruimte.

- Tijdsduur tot volledige benutting van berging zonder afvoer (Scenario 2)  
Deze tijdsduur geeft een indicatie hoe de aanvoeren op het systeem zich verhouden tot de totale berging. Zo wordt bekeken hoe een watersysteem, wanneer een peil-regulerend object niet in staat is het water af te voeren, in staat is het wateroverschot op te vangen. Voor deze tijdsduur wordt gebruik gemaakt van het initiële peilbeheer zoals toegepast in scenario 1.

$$T_{\text{vullen}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{berging}}}{Q_{\text{aanvoer\_tot}}}\right)}{3600} \quad (9)$$

$T_{\text{vullen}}$  [uur] is de tijd tot de bergingsruimte volledig is benut zonder dat objecten in staat zijn water af te voeren

- Herstel-/uitzaktijd (Scenario 3)  
Deze tijdsduur geeft aan hoe lang het zou duren om van een volledig benutte berging door extreme neerslag, terug naar streefpeil te gaan. Door het inzetten van extra afvoermogelijkheden zoals het schutten via de sluiskolk is het mogelijk om extra water af te voeren. Dit kan wel ten koste gaan van het functioneren van het systeem, zoals de scheepvaart die op het kanaal gestremd kan raken doordat het niet mogelijk is om gesloten te worden. Door maximale afvoer in te zetten wordt deze stremmingsduur geminimaliseerd om zo spoedig mogelijk functioneren van het systeem te herstellen.

$$T_{\text{Herstel}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{berging}}}{Q_{\text{max}}}\right)}{3600} \quad (10)$$

$T_{\text{herstel}}$  [uur] is de tijd die nodig is voor het kanaalpand om de bergingsruimte te legen en weer tot de initiële waterhoogte te komen.

- Aantal afvoermogelijkheden  $N_{\text{afvoer}}$   
Van elk systeem wordt geïnventariseerd wat het aantal mogelijkheden is om water af te voeren, wat de capaciteit van deze objecten is en of er mogelijke capaciteitsrestricties zijn door externe invloeden. Het aantal mogelijkheden om water af te voeren binnen het watersysteem wordt ook als kwetsbaarheidsindicator meegenomen. Mocht een watersysteem meerdere alternatieven hebben om water af te voeren, betekent dit dat het watersysteem minder kwetsbaar is voor het falen van een of meerdere objecten. Des te meer alternatieven voor waterafvoer, des te lager de kwetsbaarheid is van het pand voor het uitvallen van een van deze alternatieven. Het is belangrijk om deze randvoorwaarden te kennen, en wat het effect is op het functioneren van het watersysteem. Zo is het niet altijd mogelijk om schepen te schutten, wanneer er wordt afgevoerd door de sluiskolk. Ook kunnen

externe waterstanden van de grote rivieren en de Noordzee invloed hebben op de nominale afvoercapaciteit van objecten.

$$N_{Afvoer} = n \quad (11)$$

$N_{afvoer}$  [aantal] is het aantal verschillende objectonderdelen van het kanaalpand die in staat zijn water af te voeren. Voorbeelden zijn het heffen van sluisdeuren, aflaten door de sluiskolk of omloopriolen die water af voeren.

- Relatief capaciteitstekort  $R_{tekort}$   
Wanneer er netto meer volume aangevoerd wordt dan er afgevoerd kan worden is er sprake van een capaciteitstekort. Het capaciteitstekort is de verhouding tussen de wateraanvoer en afvoercapaciteit binnen het watersysteem. Het relatieve capaciteitstekort  $R_{tekort}$  [-] is meegenomen worden als gevoeligheidsindicator. Een relatieve verhouding geeft een indicatie van de tekortkoming en de noodzaak om maatregelen te treffen dit tekort op te lossen.

$$R_{tekort} = \frac{(Q_{tot\_aanvoer} - Q_{tot\_afvoer})}{Q_{tot\_afvoer}} \quad (12)$$

---

### 3.2.2 BEOORDELEN VAN GEVOELIGHEIDSINDICATOREN

Een kanaalpand wordt beoordeeld op een score van --, -, -/+, + of ++. Een "--" betekent dat het kanaalpand niet gevoelig is voor extreme neerslag tot aan "+" betekent dat het kanaalpand een hoge score heeft op de gevoeligheidsindicator en daarmee gevoelig is voor extreme neerslag. De totaalscore op de gevoeligheidsindicatoren van een kanaalpand wordt bepaald aan de hand van de optelsom van de rekenkundige scores van het systeem. Een score van – heeft een rekenkundige score van 1, "--" een rekenkundige score van 2 tot aan "+" met een rekenkundige score van 5. De minimum score is hiermee 5, de maximum score  $5 \times 5 = 25$ . Een lage score impliceert dat een systeem niet gevoelig is voor extreme neerslag terwijl een hoge score aangeeft dat een systeem sterk gevoelig is voor extreme neerslag. In Bijlage B staan de verschillende indicatoren met de verschillende intervallen per score vastgesteld en toegelicht. Met het beoordelen van de gevoeligheidsindicatoren wordt onderzoeksvraag 3a beantwoord.

---

### 3.2.3 IMPACTINDICATOREN

Hieronder zijn een aantal impactindicatoren opgesteld. Deze indicatoren geven informatie over de gevolgen van het wegvallen van systeemfuncties van de kanaalpanden, door extreme neerslag: heeft stremming van scheepvaart een grote of geringe impact (ligging van haven of enkel recreatieve vaart). Per kanaalpand zijn een aantal zaken opgevraagd om een idee te krijgen van het effect van wateroverlast op het watersysteem en de directe omgeving. Hiervoor is ter inspiratie gebruik gemaakt van het waterrisicoprofiel van Citydeal Klimaatadaptatie (STOWA, 2019).

- **Effect van systeemfalen op scheepvaart**  
Het effect van het bereiken van de bovengrens van het streefpeil zal gevolgen hebben voor gebruik van de kanalen. Wanneer deze bovengrens bereikt wordt zal extra waterafvoer, wanneer mogelijk, ingezet worden om het overschot aan water af te voeren. Dit zal gevolgen hebben voor de scheepvaart welke gebruik maakt van het kanaal, aangezien deze door de extra waterafvoer gestremd zal raken. De exacte impact van de indicator zal afhangen van de soort scheepvaart die gebruik maakt van het kanaal en of het kanaal een haven bevat of een belangrijke toegangsweg voor een haven.
- **Impact op directe omgeving**  
Een hoog waterpeil door extreme neerslag zou op sommige plekken kunnen betekenen dat water over keringen stroomt en terecht komt in de directe omgeving van het watersysteem. Wanneer bekend is bij de regio wat de gevolgen zijn worden deze meegenomen als indicator voor impact. Voorbeelden zijn water op de kade, een parkeerterrein onder water of de bebouwde kom achter een kering.

De bovengenoemde impactindicatoren geven een indruk van de impact op de directe veiligheid en het functioneren van het systeem. Wanneer een watersysteem bijzonderheden in de omgeving bevat of situaties die opspeelden ten tijde van hoogwater uit de praktijk, is dit meegenomen in de kwalitatieve beoordeling van de impact.

| Score         | Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -,-, -/+,+,++ | Impact op scheepvaart      | Er is gekeken naar wat de impact op scheepvaart is binnen het kanaalpand. Kenmerken hiervan zijn de soort vaart (recreationeel of beroepsvaart) en aanwezige havens. Deze informatie is niet formeel berekend aan de hand van schade of gevolgen maar volgen uit een inschatting aan de hand van de beschikbare informatie over de gevolgen van wateroverlast op het systeem. |
| -,-, -/+,+,++ | Impact op directe omgeving | Er is gekeken wat de impact op de directe omgeving is. Wordt vitale infrastructuur ontregeld, bebouwde kom onder water of enkel een weiland onder water. Deze informatie is niet formeel berekend aan de hand van schade of gevolgen maar volgen uit een inschatting aan de hand van de beschikbare informatie over de gevolgen van wateroverlast op het systeem.             |

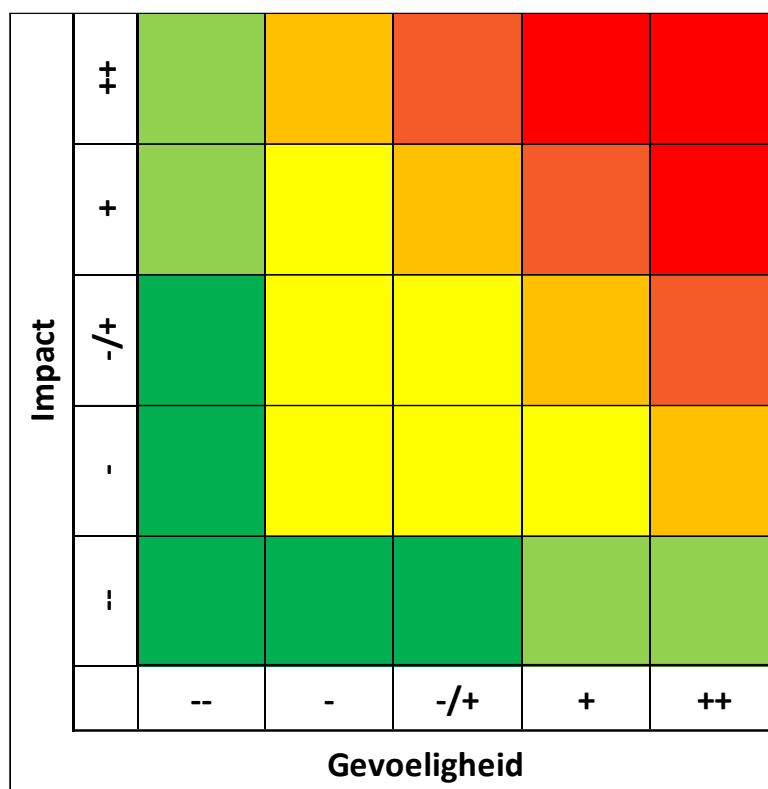
Tabel 1 Scores impactindicatoren

De totaalscore qua impact wordt, net als de gevoeligheid van een systeem, bepaald door de totaalsom van de score van de impactindicatoren. Een score van ‘-’ heeft een rekenkundige score van 1, “-” een rekenkundige score van 2 tot aan “++” met een rekenkundige score van 5. Een maximale score van 10 impliceert dat de impact van wateroverlast groot is, terwijl een lage score impliceert dat de impact van wateroverlast klein is. De score van impact heeft een maximum van 10 tegenover het maximumscore van 25 voor gevoeligheid. Dit maakt geen verschil voor de beoordeling aangezien deze wordt gebaseerd op de relatieve score op de indicator: een score van 20/25 is net zo

hoog als 8/10. Met het beoordelen van de impactindicatoren wordt onderzoeksvraag 3b beantwoord.

### 3.2.4 OPSTELLEN KWETSBAARHEIDSDIAGRAM

In plaats van kans en gevolg, is er gebruik gemaakt van de gevoeligheid- en impactindicatoren, als hierboven en weergegeven in een 2D matrix zoals weergegeven in Figuur 6. Op de verticale as zal de positie van een peil-regulerend object of watersysteem komen te staan, gewaardeerd aan hand van de impactindicatoren. De positie op de horizontale as hangt af van de gevoeligheidsindicatoren.



Figuur 7 Voorbeeld kwetsbaarheidsdiagram

De coördinaten van de kanaalpanden binnen het kwetsbaarheidsdiagram worden bepaald door de scores van de kanalen op de gevoeligheids- en impactindicatoren. Wanneer de totaalscores zijn opgeteld, kunnen de coördinaten binnen het diagram gevonden worden volgens Tabel 2.

| Interval score gevoeligheid | Interval score impact | Symbool op as |
|-----------------------------|-----------------------|---------------|
| 5-8                         | 2-3                   | --            |
| 9-12                        | 4-5                   | -             |
| 13-16                       | 6-7                   | -/+           |
| 17-20                       | 8,9                   | +             |
| 21-25                       | 10                    | ++            |

Tabel 2 Interval kwetsbaarheidsindicatoren

### 3.3 STAP 3: VALIDATIE BEVINDINGEN

De kwetsbaarheidsdiagrammen als Figuur 6 zullen van elk van de watersystemen opgesteld worden. Hierin zullen de peil-regulerende objecten gerankt worden op kwetsbaarheid en impact van falen. Om te voorkomen dat vertekende conclusies getrokken worden, zullen de diagrammen gepresenteerd worden aan de risicobeheerders in een tweede interview. Gedurende het interview is de toetsingsmethode voorgelegd, de gebruikte data en referenties en de uiteindelijke onderlinge ligging in het kwetsbaarheidsdiagram. Dit om te verifiëren of de juiste gegevens gebruikt zijn, en of de gevonden kwetsbaarheden herkend worden door de experts.



#### 4 KWETSBAARHEIDSANALYSE VAN DE TWENTEKANALEN

In dit hoofdstuk wordt de kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd voor de Twentekanalen. De scores op de indicatoren, systeembeschrijving en kwetsbaarheidsdiagrammen zijn gepresenteerd voor het hele watersysteem. De rekenstappen en redeneringen achter de scores op de gevoeligheids- en impactindicatoren zijn te vinden in Bijlage C.

##### 4.1 SYSTEEMVERKENNING TWENTEKANALEN



Figuur 8 Overzicht watersysteem Twentekanalen

De Twentekanalen bestaan uit drie sluispanden: Het pand Enschede-Hengelo welk waterpeil gereguleerd wordt door sluis Hengelo, Hengelo-Delden welk waterpeil gereguleerd wordt door sluis Delden en Delden-Eefde met een zijtak naar Almelo (Engel, 2019). Bij Eefde monden de Twentekanalen uit op de IJssel. De hoofdfuncties van het systeem zijn scheepvaart en het aan- en afvoeren van zoetwater (Engel, 2019). Voor de scheepvaart is het van belang dat er genoeg diepgang aanwezig is voor de containervaart op het kanaal, maar ook dat de waterstand niet te hoog is in verband met aanwezige bruggen over het kanaal (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1995). Tot aan Delden kunnen Scheepsklassen IV tot Va gebruik maken van het kanaal (Rijkswaterstaat Dir. Oost Nederland, 1995)

In regulier waterbeheer wordt water afgevoerd tijdens het schutten van schutkolken, terwijl er tijdens hoogwater water afgevoerd kan worden door het heffen van de sluisdeuren. Er is geen aflatmogelijkheid bij sluis Hengelo. Sluis Delden bevat een aflatwerk uitgevoerd met twee afvoerkanalen, naast waterafvoer tijdens het schutten van de sluis. Wanneer het waterpeil de bovengrens van het streefpeil bereikt, worden de sluisdeuren opgeheven om extra water door te laten. Ook is het mogelijk om door het heffen van de sluisdeuren te schutten, echter zal dit resulteren in een scheepvaartstremming (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019)

De scheepvaart kan van het hoge peil last ervaren, door de bruggen over het kanaal. Voornamelijk containervaart vanuit de haven in het kanaalpand bij Hengelo ondervindt hier problemen van (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019).

Kanaalpand Eefde-Delden, met een zijkanaal naar Almelo, is het grootste kanaalpand van de Twentekanalen. Het sluizencomplex bij Eefde reguleert het waterpeil tussen Eefde-Delden-Almelo. Het sluizencomplex bevat twee aflatwerken: Eefde-oud en Eefde-nieuw. Ook kan er nog gespuid worden door de sluiskolk met  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , maar dit zal de scheepvaart doen stremmen (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019). Het zijkanaal naar Almelo eindigt bij sluis Almelo. Deze sluis wordt buiten beschouwing gelaten aangezien deze wordt beheerd door de provincie (Engel, 2019).

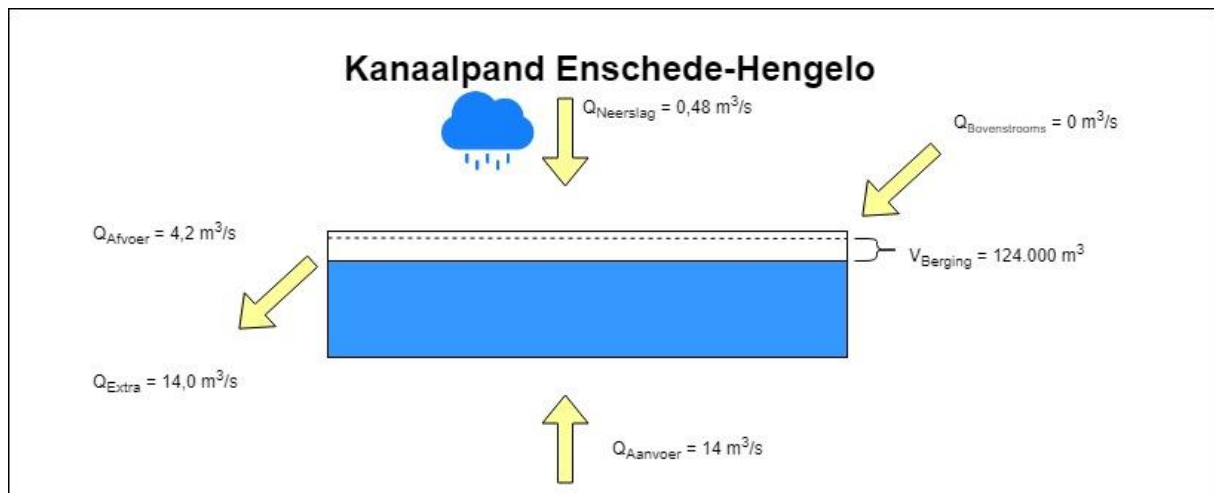
Sluis Eefde watert af op de IJssel. Bij hoge waterstanden van de IJssel zal er een afvoerbeperring optreden van het sluizencomplex bij Eefde (Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland, 2010). Tot een IJssel waterstand van 8,0 m NAP en 8,5 m NAP bij respectievelijke Eefde-nieuw en Eefde-oud zal er geen afvoerbeperring bij de IJssel optreden. Wat de werkelijke afvoerbeperring is bij maximale IJsselstand is niet bekend. Deze is daarom niet meegenomen als restrictie van de afvoercapaciteit van sluis Eefde.

#### 4.2 PEILBEHEER TWENTEKANALEN

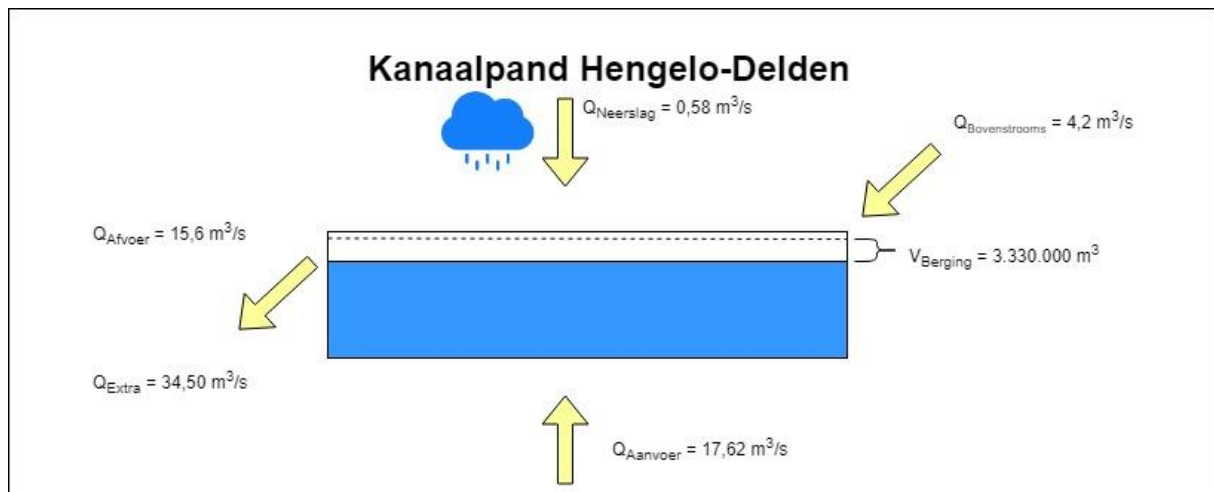
Ten tijde van wateroverlast worden de Twentekanalen gebruikt als middel om water uit de omliggende gebieden af te voeren. Om deze aan- en afvoer van water te faciliteren, wordt er peilbeheer gevoerd om binnen een marge van het streefpeil te blijven (Rijkswaterstaat, 2011). De marges van dit peilbeheer zijn +/-10 cm. De ondergrens en bovengrens van deze marges worden het alarmpeil genoemd. Volgens 'Basistabel SFE' (Evers, 2018), een tabel met de prestatie-indicatoren van het Hoofdwatersysteem, wordt er een bovengrens van 16,35 m NAP gehanteerd, terwijl in waterakkoord 16,10 vermeld staat. Binnen 'Basistabel SFE' staan de functie- en prestatie-eisen van het HWS beschreven. Deze waarden worden als leidend beschouwd. De streefpeilen met onder- en bovengrens staan weergegeven in Bijlage F.

#### 4.3 BEPALING AANVOER OP DE TWENTEKANALEN

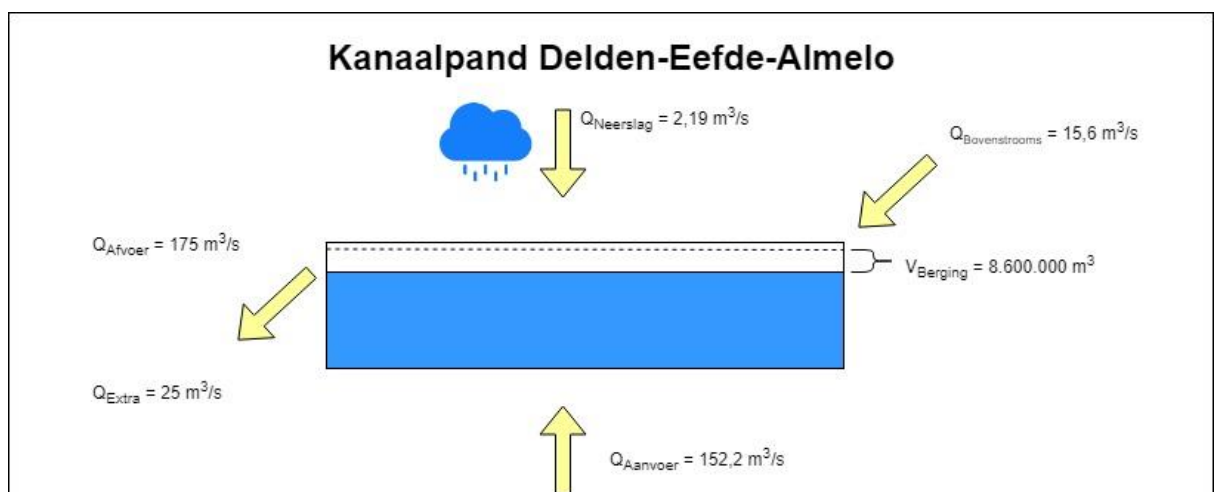
Hiervoor wordt de aanname gedaan dat de Piekaanvoeren vanuit de regio gelijktijdig optreden. De gebruikte Piekaanvoeren  $Q_{\text{aanvoer}}$  uit de afwaterende systemen, zoals in Bijlage E, zijn de maximale waarden uit de afwaterende gebieden (Mulder, Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019). Deze vastgestelde waarden voor de aanvoeren (Rijkswaterstaat, 2011) zijn niet veranderd onder invloed van klimaatveranderingen omdat tussen Rijkswaterstaat, als beheerder van het HWS, en waterschappen van de afwaterende gebieden afspraken zijn gemaakt over de maxima. Wanneer een waterschap meer wilt aanvoeren op het watersysteem zullen deze afspraken veranderd moeten worden en gemaakte kosten verhaald worden op de waterschappen (Mulder, Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019). Om deze reden zijn de afgesproken getallen zoals opgenomen in het waterakkoord (Rijkswaterstaat, 2011) gebruikt voor  $Q_{\text{aanvoer}}$ . In figuren 9-11 zijn versimpelde weergaven van de kanaalpanden te vinden.



Figuur 10 Schematisatie kanaalpand Enschede-Hengelo



Figuur 9 Schematisatie kanaalpand Hengelo-Delden



Figuur 11 Schematisatie kanaalpand Delden-Hengelo-Almelo

Deze figuren dienen als visualisatie van het model en om een idee te geven hoe de grootheden zich tot elkaar verhouden. De kentallen met corresponderende bronnen zijn te vinden in Bijlage C en gebruikt als basis van de kwetsbaarheidsanalyse in paragraaf 4.4. In de figuren valt te zien dat kanaalpand Enschede-Hengelo aanzienlijk meer aanvoer ontvangt dan het in regulier beheer kan afvoeren. Kanaalpand Hengelo-Delden heeft een klein afvoertekort maar heeft een grote  $V_{\text{berging}}$  die dit op kan vangen.  $Q_{\text{afvoer}}$  van kanaalpand Delden-Eefde-Almelo is groter dan  $Q_{\text{tot aanvoer}}$  waardoor het kanaal in theorie voldoende afvoercapaciteit heeft om het totale waterbezwaar af te voeren.

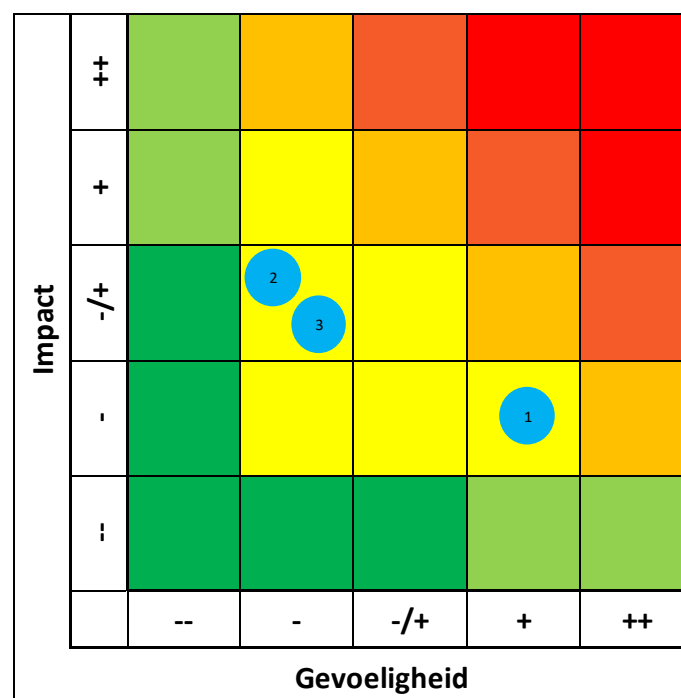
#### 4.4 RESULTATEN KWETSBAARHEIDSANALYSE TWENTEKANALEN

De informatie verzameld in (4.1-4.3) wordt gebruikt als input om te kijken hoe de objecten en kanaalpanden scoren op de gevoeligheidsindicatoren. De berekeningen staan weergegeven in Bijlage C. Specifieke eigenschappen van het kanaal zijn, wanneer bekend, toegelicht bij de bepaling van de scores op de indicatoren.

Met de gevoeligheids- en impactsindicatoren bekeken per kanaalpand, is het mogelijk iets te zeggen over de ligging in het kwetsbaarheidsdiagram. De scores van de drie kanaalpanden zijn te vinden in Tabel 3. Het nummer voor de naam van het systeem geeft aan welke bol welk kanaalpand symboliseert.

| (Nummer) Kanaalpand     | Score gevoeligheid | Score impact |
|-------------------------|--------------------|--------------|
| (1) Enschede-Hengelo    | 20/25 (+)          | 4/10 (-)     |
| (2) Hengelo-Delden      | 10/25 (-)          | 7/10 (-/+)   |
| (3) Delden-Eefde-Almelo | 9/25 (-)           | 7/10 (-/+)   |

Tabel 3 Score kwetsbaarheid Twentekanalen



Figuur 12 Kwetsbaarheidsdiagram Twentekanalen

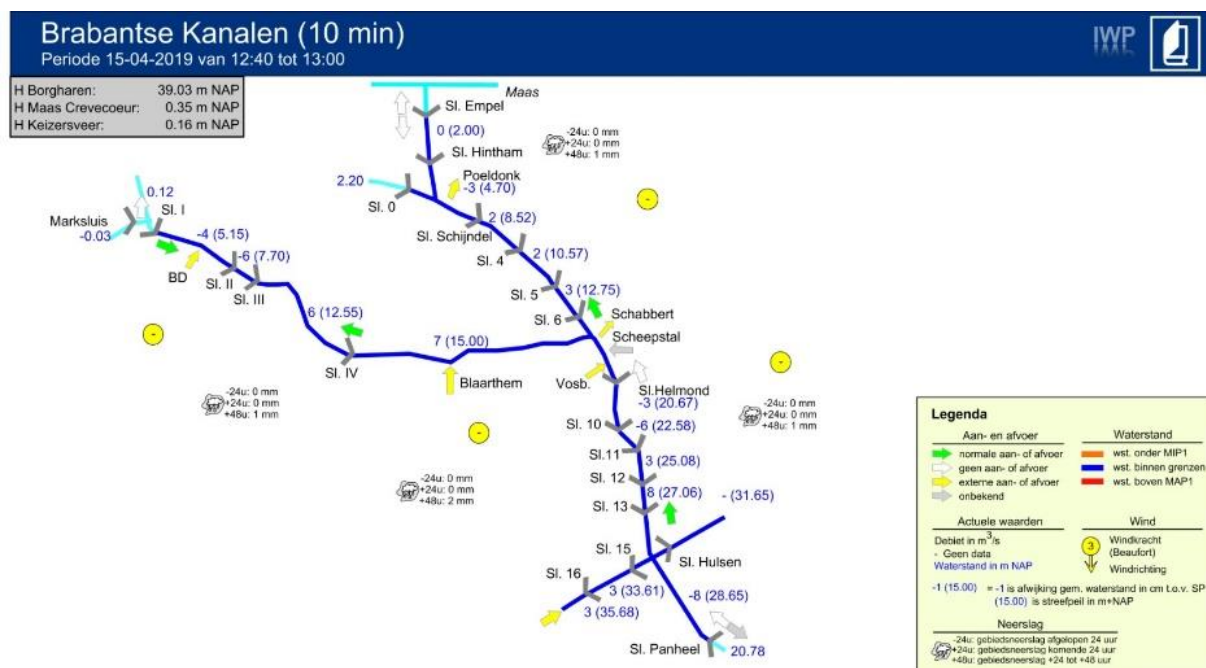
Hieruit blijkt dat pand Hengelo-Delden en Delden-Eefde-Almelo het meest kwetsbaar zijn binnen watersysteem Twentekanal. Hoewel deze kanaalpanden niet hoog scoren qua gevoeligheid scoren deze 7/10 qua impact. Dit als gevolg van de haven nabij Hengelo en pand Delden-Eefde als aanvoerroute hiervan. De ligging van de kanaalpanden in het kwetsbaarheidsdiagram is te zien in Figuur 11.

De kwetsbaarheidsanalyse van de Twentekanal is voorgelegd aan experts van de regio. De eerste set kwetsbaarheden werd op een aantal zaken aangepast naar aanleiding van dit gesprek (Mulder, Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanal, 2019). Tijdens dit interview kwam naar voren dat een grote aanvoer op het pand Enschede-Hengelo niet aangegeven was, wat zorgde voor een verschuiving binnen het diagram. Dit is aan de hand van dit gesprek aangepast naar een meer nauwkeurige waarde.

## 5 KWETSBAARHEIDSANALYSE VAN DE NOORD-BRABANTSE EN MIDDEN-LIMBURGSE KANALEN

In dit hoofdstuk wordt de kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd voor de Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen. De kwetsbaarheidsanalyse van het Grote Pand is in paragraaf 5 uitgevoerd, de kwetsbaarheidsanalyse van de andere hoofdtakken zijn te vinden in Bijlage D. De resultaten van de kwetsbaarheidsanalyse van het hele watersysteem is te vinden in paragraaf 5.4. De rekenstappen en redeneringen achter de scores op de gevoeligheids- en impactindicatoren zijn te vinden in Bijlage D.

### 5.1 SYSTEEMVERKENNING MIDDEN-LIMBURGSE EN NOORD-BRABANTSE KANALEN



Figuur 13 Overzicht watersysteem Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen

De Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen is een complex watersysteem, bestaande uit 15 kanaalpanden en 20 objecten met een waterafvoerfunctie. Deze hoeveelheid sluizen komt door het hoogteverschil van 35 meter over het gehele traject (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en

Midden-Limburgse kanalen, 2019). Het watersysteem telt vijf verschillende hoofdtakken: Limburg, Zuid-Willemsvaart Zuid, het Grote Pand, Zuid-Willemsvaart Noord en het Wilhelminakanaal. Het Maximakanaal is buiten beschouwing gelaten omdat dit kanaal geen waterafvoer-functie heeft en slechts een scheepvaartfunctie (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018).

De Midden-Limburgse kanalen bestaan uit de kanaalpanden Sluis 16-15 en Sluis 15-13-Panheel-Hulsen. Vanuit België (Lozen) komt er wateraanvoer op kanaalpand Sluis 16-15. Naast deze aanvoer voeren er geen andere kanalen af op het watersysteem. (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Waterafvoer vindt via sluis 15 plaats op kanaalpand Sluis 15-13-Panheel-Hulsen. Hier voeren gemalen Panheel en Hulsen water af uit het kanaal, terwijl de Zuid-Willemsvaart Zuid bij sluis 13 begint en eindigt bij sluis 8 en sluis Helmond. In natte omstandigheden wordt wateraanvoer via de Midden-Limburgse kanalen en Zuid-Willemsvaart richting het Noorden afgesloten (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018). Dit wordt gedaan om het Grote Pand van extra wateraanvoer te ontzien. Dit scenario wordt als uitgangssituatie beschouwd voor dit onderzoek, waardoor er geen wateraanvoer zal plaatsvinden via sluis 16 en sluis 13.

Via het Grote Pand worden de watersystemen met elkaar verbonden. Hier ontvangt het pand diverse aanvoeren vanuit verschillende afwaterende gebieden en stedelijk gebied. Naast twee aftakkingen, naar het Wilhelminakanaal en naar de Zuid-Willemsvaart Noord, onttrekt een Rioolwaterzuiveringsinstallatie nabij Helmond een klein deel van de aanvoer en voert uitlaatwerk 'De Schabbert' water af op de Aa (BWZ Ingenieurs, 2012). Dit object heeft een bekende afvoerrestrictie: De Schabbert zou 18 m<sup>3</sup>/s moeten kunnen afvoeren terwijl dit in de praktijk veel lager ligt. Dit ligt soms onder de 12 m<sup>3</sup>/s doordat het Waterschap niet meer water toelaat in verband met benedenstroomse wateroverlast (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Ook hebben zowel sluis 6 en sluis IV een beperkte afvoercapaciteit. Van het Grote Pand is bekend dat deze in extreme situaties niet in staat is de wateraanvoer af te voeren, waardoor de situatie op het Grote Pand als maatgevend wordt beschouwd (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018). Dit is ook de reden dat wateraanvoer via Zuid-Willemsvaart Zuid niet meer zal plaatsvinden in een dergelijke situatie.

Het Wilhelminakanaal en de Zuid-Willemsvaart zijn gegraven kanalen met functies voor scheepvaart (BWZ Ingenieurs, 2012). Via sluis 6 gaat de Zuid-Willemsvaart Noord verder door sluis 5-4-Schijndel tot aan het Maximakanaal en Poeldonk. Bij Poeldonk loost Zuid-Willemsvaart op de Aa bij Den Bosch (BWZ Ingenieurs, 2012). Nabij Veghel, op kanaalpand sluis 4-Schijndel, is een containerhaven aanwezig. De containervaart bereikt de haven via het Maximakanaal. De Zuid-Willemsvaart is geschikt voor scheepvaart tot aan klasse IV. De kosten van scheepvaarstremming worden geschat op 5.000 tot 15.000 euro per dag bij stremming van de Zuid-Willemsvaart tussen sluis 4 en sluis 6 en 100.000 bij stremming van het resterend deel van de Zuid-Willemsvaart (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)

Het Wilhelminakanaal loopt van sluis IV vanaf het Grote Pand tot aan sluis I. Tussen sluis II en sluis I ontvangt het Wilhelminakanaal aanvoer vanuit aflatwerk Boven Donge. Qua scheepvaart is het kanaal geschikt voor klasse IV terwijl het resterende deel van het Wilhelminakanaal geschikt is voor

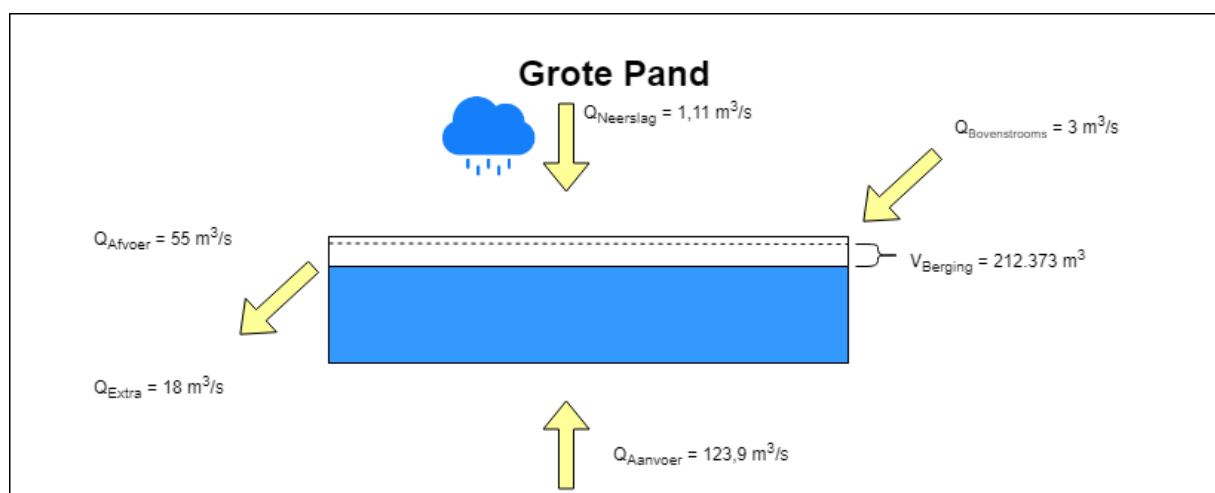
Klasse II (BWZ Ingenieurs, 2012). De kosten van een scheepvaarstremming worden geschat op 50.000 euro per dag voor het Wilhelminakanaal.

## 5.2 PEILBEHEER MIDDEN-LIMBURGSE EN NOORD-BRABANTSE KANALEN

Binnen het peilbeheer worden een aantal alarmpeilen gehanteerd. Deze staan weergegeven in Bijlage F (Evers, 2018). Wanneer het water boven de bovengrens van het streefpeil komt, het hoogste alarmpeil, lopen oevers en keringen een risico. (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Om deze aan- en afvoer van water te faciliteren, wordt er peilbeheer gevoerd om binnen een marge van dit streefpeil te blijven (Rijkswaterstaat, 2011). De marges van dit peilbeheer verschillend per pand. In verband met de scheepvaart op het kanaal is het niet gangbaar om lager reactief te laten zakken onder het streefpeil, om zo meer bergingsruimte te creëren (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Daarom is binnen de berekeningen streefpeil als  $h_0$  genomen.

## 5.3 BEPALING AANVOER OP MIDDEN-LIMBURGSE EN NOORD-BRABANTSE KANALEN

Vanwege de grote hoeveelheid kanaalpanden in het watersysteem is alleen het Grote Pand uitgewerkt binnen dit hoofdstuk. In Bijlage D zijn de berekeningen voor de andere kanalen te vinden. Door het extreem natte scenario is de wateraanvoer vanuit bovenstrooms liggende kanalen beperkt tot de aanvoer via de traverse bij Helmond. Ook zijn er een aantal afwaterende systemen op het kanaalpand: Vossenbeemd (Aa en Maas) en Muizenhol (Aa en Maas) voeren water af op het systeem. De Q100 waarden zijn vergroot met 20% met het oog op de klimaatveranderingen (BWZ Ingenieurs, 2012). In het rapport van BWZ ingenieurs wordt rekening gehouden met een toename van 10%, maar deze zijn voor dit onderzoek vergroot naar 20% gezien de KNMI'14 cijfers. Naast de neerslag op het natte oppervlak van 141,6 ha watert er ook een stedelijke gebied met oppervlakte van 317,0 ha af op het kanaal.



Figuur 14 Schematisatie Grote Pand

In Figuur 13 valt te zien dat het Grote Pand een aanzienlijk capaciteitstekort heeft.  $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$  bedraagt 128,0  $\text{m}^3/\text{s}$  terwijl er in regulier beheer slechts 55  $\text{m}^3/\text{s}$  wordt afgevoerd volgens de berekeningen in Bijlage D.

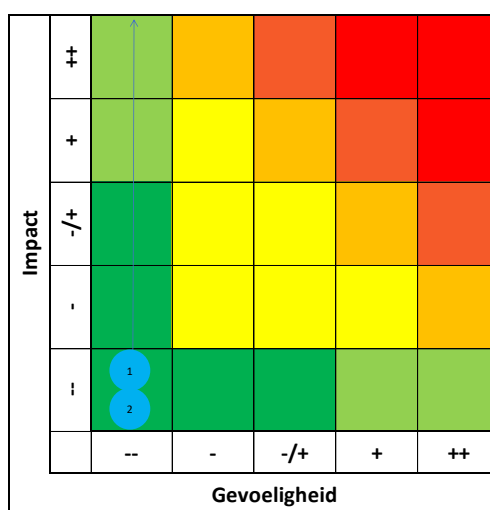


## 5.4 RESULTATEN KWETSBAARHEIDSANALYSE MIDDEN-LIMBURGSE EN NOORD-BRABANTSE KANALEN

De kwetsbaarheidsindicatoren van het hele watersysteem zijn bekeken in Bijlage D. De scores van de Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen zijn te vinden in Tabellen 4-6. Per hoofdtak van het systeem is er een figuur opgesteld, gezien de grote hoeveelheid kanaalpanden in het systeem. Het nummer voor de naam van het systeem zoals in Tabellen 4-6 geeft aan welke bol welk kanaalpand symboliseert.

| (Nummer) Naam kanaalpand       | Score gevoeligheid | Score impact        |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|
| (1) Sluis 16-15                | 8/25 (--)          | 2-10 / 10 (-- → ++) |
| (2) Sluis 15-13-Panheel-Hulsen | 6/25 (--)          | 2-10 / 10 (-- → ++) |

Tabel 4 Score kwetsbaarheid Limburg

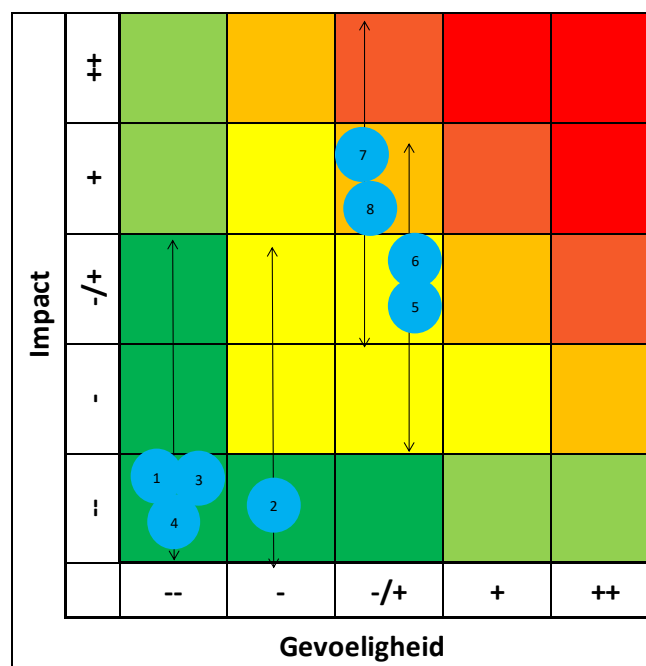


Figuur 15 Kwetsbaarheidsdiagram Limburg

| (Nummer) Naam kanaalpand             | Score gevoeligheid | Score impact       |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
| (1) Sluis 13-12                      | 8/25 (--)          | 2-6/10 (-- → -/+)  |
| (2) Sluis 12-11                      | 9/25 (-)           | 2-6/10 (-- → -/+)  |
| (3) Sluis 11-10                      | 8/25 (---)         | 2-6/10 (-- → -/+)  |
| (4) Sluis 10-9-Helmond               | 7/25 (---)         | 2-6/10 (-- → -/+)  |
| (5) Sluis 6-5                        | 13/25 (-/+)        | 4-8/10 (- → +)     |
| (6) Sluis 5-4                        | 13/25 (-/+)        | 4-8/10 (- → +)     |
| (7) Sluis 4-Schijndel                | 13/25 (-/+)        | 6-10/10 (-/+ → ++) |
| (8) Sluis Schijndel-Poeldonk-Sluis 0 | 14/25 (-/+)        | 6-10/10 (-/+ → ++) |

Tabel 5 Score kwetsbaarheid Zuid-Willemsvaart

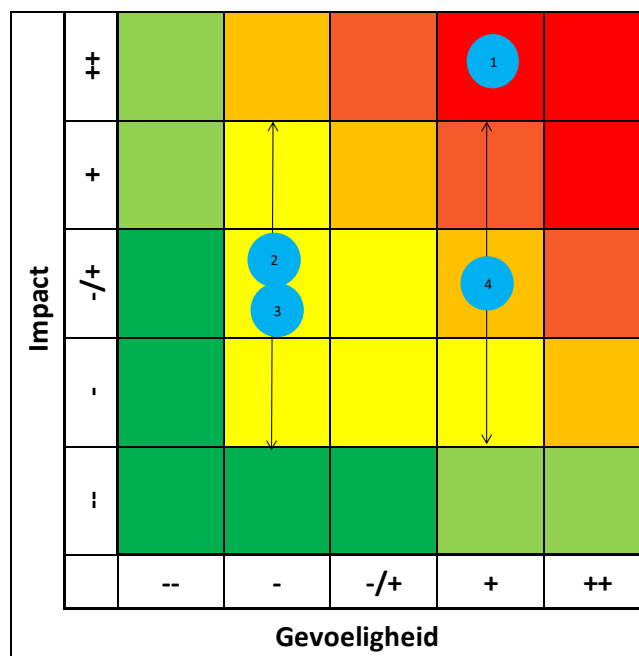




Figuur 16 Kwetsbaarheidsdiagram Zuid-Willemsvaart

| (Nummer) Naam kanaalpand | Score gevoeligheid | Score impact   |
|--------------------------|--------------------|----------------|
| (1) Grote Pand           | 17/25 (+)          | 10/10          |
| (2) Sluis IV-III         | 11/25 (-)          | 5-9/10 (- → +) |
| (3) Sluis III-II         | 11/25 (-)          | 5-9/10 (- → +) |
| (4) Sluis II-I           | 17/25 (+)          | 5-9/10 (- → +) |

Tabel 6 Score kwetsbaarheid Wilhelminakanaal en Grote Pand



Figuur 17 Kwetsbaarheidsdiagram Wilhelminakanaal en Grote Pand

In Figuren 14-16 valt af te lezen dat het Grote Pand, kanaalpand sluis II-I, kanaalpand sluis 4-Schijndel en kanaalpand Schijndel-Poeldonk-Sluis 0 de meest kwetsbare kanaalpanden zijn. Ook valt af te lezen dat niet alle kanaalpanden concreet zijn gedefinieerd op de impact-as. Dit is omdat van de meeste kanalen niet duidelijk is wat de impact is van wateroverlast mocht het water hoog komen te staan. Om deze reden wordt voor de impact op de directe omgeving een score van 1-5 genomen, om hier geen uitspraak over te doen. Van het Grote Pand is wel duidelijk waar de knelpunten zitten en wat de gevolgen zijn (Witteveen+Bos, 2019). De impact is voornamelijk gebaseerd op de gevolgen voor scheepvaart op het kanaal. Voor de impact van wateroverlast op de directe omgeving moeten de resultaten van het lopende Witteveen+Bos onderzoek afgewacht worden.

De eerste set kwetsbaarheden binnen de Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen zijn gevalideerd aan de hand van een eindinterview met de regio. Deze eerste set kwetsbaarheden werden grotendeels herkend (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). De indicatoren zijn na dit gesprek, door het aanpassen van een enkele indicatoren en de gebruikte intervallen, lichtelijk veranderd qua waardering. Dit heeft niet gezorgd voor grote verschuivingen binnen het diagram.

## 6 KWETSBAARHEIDSANALYSE VAN AMSTERDAM-RIJNKANAAL / NOORDZEEKANAAL

In dit hoofdstuk wordt de kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd voor het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal de kwetsbaarheidsanalyse van de andere hoofdtakken zijn te vinden in Bijlage E. De resultaten van de kwetsbaarheidsanalyse van het hele watersysteem is te vinden in paragraaf 5.4. De rekenstappen en redeneringen achter de scores op de gevoeligheids- en impactindicatoren zijn te vinden in Bijlage E.

### 6.1 SYSTEEMVERKENNING AMSTERDAM-RIJNKANAAL – NOORDZEEKANAAL



Figuur 18 Overzicht watersysteem Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal

Het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal is een watersysteem wat onder normale omstandigheden in open verbinding met elkaar staat (Hydrologic, 2017). Het kan hierdoor beschouwd worden als een enkel kanaalpand doordat de waterstand in het hele watersysteem vrijwel gelijk is (Hydrologic, 2017). Via de Pr. Irenesluizen en de Pr. Beatrixsluizen staat het Amsterdam-Rijnkanaal in verbinding met de Lek. De waterstand op de Lek is hoger dan het waterpeil op het Amsterdam-Rijnkanaal waardoor het kanaal geen water kan afvoeren op het systeem. Via de Ipensloter en Diemerdammersluis is het mogelijk water af te voeren via de open verbinding met het IJmeer. De Nuon-centrale in Diemen kan, door middel van het koelwatercircuit, een verbinding leggen tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en het IJmeer en zo een extra afvoermogelijkheid creëren.

Naast aanvoer via het zogenaamde Water Inlaat Systeem of WIS via de Irenesluizen en Beatrixsluizen staat het Amsterdam-Rijnkanaal ook in verbinding met de stadswateren van de stad Amsterdam. De boezem van afwaterend gebied Amstel, Gooi en Vecht (Hydrologic, 2016) staat ook in open verbinding met het Amsterdam-Rijnkanaal. Amstel, Gooi en Vecht bestaat uit de Amstellandboezem ten westen van het Amsterdam-Rijnkanaal en de Vechtboezem ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal. Het Oranjesluizencomplex maakt een verbinding met het IJmeer en het Amsterdam-Rijnkanaal. Na Amsterdam gaat het Amsterdam-Rijnkanaal over tot het Noordzeekanaal waar het de Amsterdamse havens verbindt met de Noordzee. De verbinding met de Noordzee vindt plaats bij complex IJmuiden (Hydrologic, 2017). Bij IJmuiden kunnen schepen van- en naar de Noordzee gesloten worden en zijn in het spui- en maalcomplex spuiwerken en pompen aanwezig om de waterstand op het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal op peil te houden. Naast IJmuiden kan

er via gemaal Zeeburg nabij Amsterdam water van het Amsterdam-Rijnkanaal op het IJmeer gepompt worden. Naast het WIS vindt er wateraanvoer plaats vanuit de polders en boezems door middel van pompgemalen (Hydrologic, 2017). Deze pompgemalen pompen overtollig water door neerslag naar het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal (Tijssen, 2019).

Wanneer het verschil tussen de waterstand van de Noordzee en de waterstand op het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal niet groot genoeg is, is het niet mogelijk om met de volledige afvoercapaciteit bij IJmuiden water af te voeren (Hydrologic, 2019). Wanneer de waterstand van de Noordzee minder dan 12 cm lager staat dan het waterpeil op het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal, is het niet mogelijk om via het spuiwerk water af te laten. Ook zal bij dit zogenaamde spuislot het niet mogelijk zijn om met de oude pompen water af te voeren op de Noordzee (Hydrologic, 2016). Twee pompen, de nieuwe pompen, zijn wel inzetbaar tijdens dit spuislot.

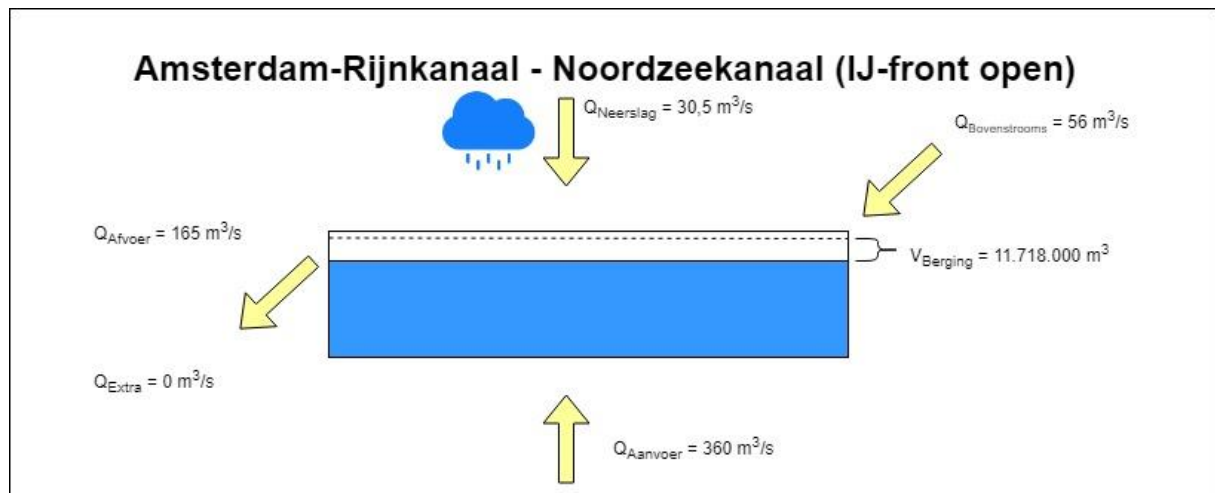
## 6.2 PEILBEHEER AMSTERDAM-RIJNKANAAL - NOORDZEEKANAAL

Het streefpeil van het Amsterdam-Rijnkanaal, en de systemen die daarmee in open verbinding staan, bedraagt -0,40 m NAP. Wanneer er hoogwater wordt voorspeld wordt er binnen het Amsterdam-Rijnkanaal voorgemalen. Dit houdt in dat het waterpeil lager dan het streefpeil komt te liggen door preventief meer water af te voeren, om zo meer bergingsruimte te creëren voor het waterbezwaar. Dit wordt gedaan tot een waterpeil van -0,50 m NAP. Bijzonder aan het Amsterdam-Rijnkanaal is het dynamische beheer tijdens hoogwater. Het zogenaamde IJ-Front wordt bij een waterstand van -0,20 m NAP gesloten, wat betekent dat het stadswater van Amsterdam afgesloten wordt van het Noordzeekanaal (Hydrologic, 2017). Dit omdat een waterstand hoger dan -0,20 NAP problemen geeft met het stadswater binnen Amsterdam. Omdat de AGV boezem ook te maken krijgt met wateroverlast door het overstromen van polderkades, wordt ook hier bij een waterstand van -0,20 m NAP de boezem losgekoppeld van het watersysteem. De wateraanvoer op de AGV boezem zal vervolgens bemalen worden door gemaal Zeeburg. (Tijssen, 2019) en zal deze niet meer water uit het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal afvoeren. Wanneer het waterpeil op het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal blijft toenemen door de wateraanvoer zal er bij een waterpeil van 0,00 m NAP een maalstop optreden. Dit betekent dat de wateraanvoer door de pompgemalen wordt beperkt (Hydrologic, 2016). In Bijlage F zijn de verschillende waterpeil weergegeven.

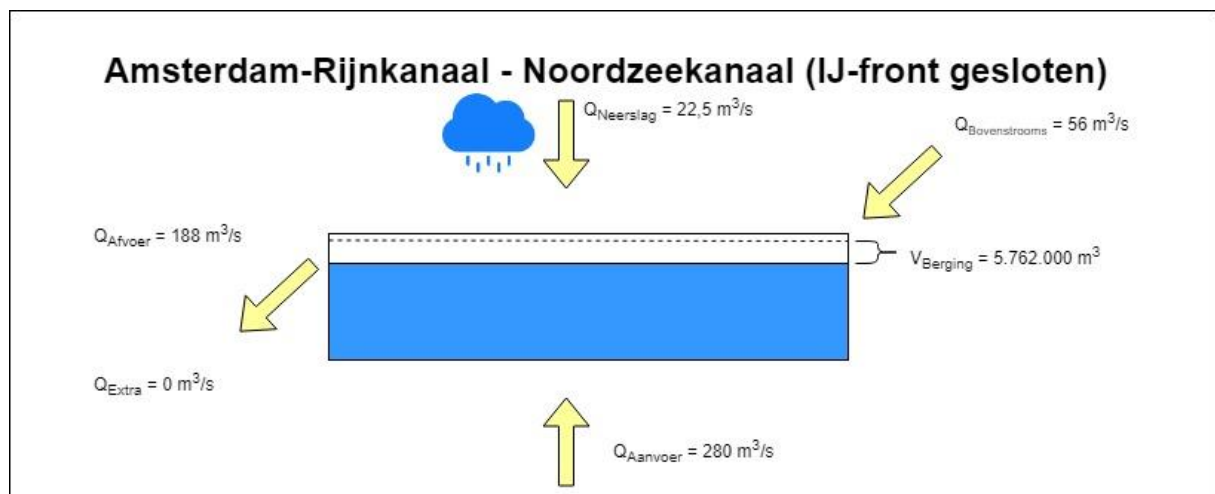
## 6.3 BEPALING AANVOER AMSTERDAM-RIJNKANAAL – NOORDZEEKANAAL

Dit betekent dat het watersysteem twee scenario's kent: het benutten van de berging van het watersysteem inclusief de AGV boezem en het stadswater van Amsterdam tot -0,20 m NAP, en het benutten van de berging tussen -0,20 m NAP en 0,00 m NAP. De scenario's verschillen in de af- en aanvoer van het systeem. In die initiële situatie wordt er aangenomen dat het WIS via de Irene- en Beatrixsluizen al is uitgezet.  $Q_{aanvoer}$  bestaat uit de aanvoer door de poldergemalen,  $Q_{neerslag}$  bestaat uit de neerslag op het Amsterdam-Rijnkanaal, Noordzeekanaal en de AGV boezem.  $Q_{bovenstrooms}$  bestaat uit de aanvoer van de Utrechtse grachten.

In de Figuur 17 wordt de situatie tussen de waterstanden -0,50 m NAP en -0,20 m NAP weergegeven. Hierin staan AGV en stadswater Amsterdam nog in open verbinding met het Amsterdam-Rijnkanaal /Noordzeekanaal. Het scenario in Figuur 18 is de situatie tussen de waterstanden -0,20 m NAP en 0,00 m NAP



Figuur 19 Schematisatie Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal (IJ-front open)



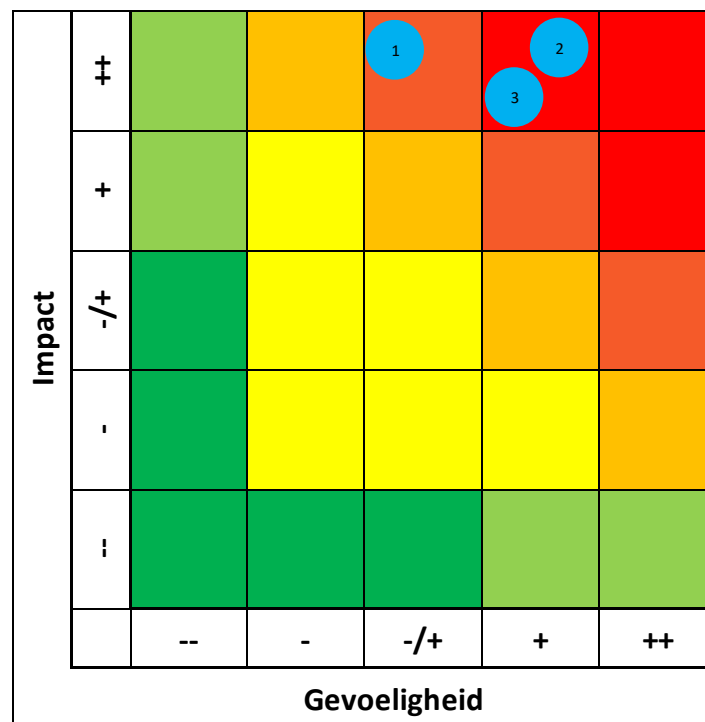
Figuur 20 Schematisatie Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal (IJ-front gesloten)

## 6.4 RESULTATEN KWETSBAARHEIDSANALYSE AMSTERDAM-RIJNKANAAL – NOORDZEEKANAAL

De gevoeligheids- en impactsindicatoren zijn bekeken voor het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal, welke is bekeken als een kanaalpand. De scores zijn bepaald tijdens beide situaties zoals geschetst in Figuur 17-18 en bekeken over de gehele bergingstijd. Dit is gedaan omdat de aanvoeren en afvoeren tijdens de scenario's veranderen en hiermee de kwetsbaarheid van het kanaal. De gevoeligheids- en impactindicatoren zijn te vinden in Tabel 7. Het nummer voor de naam van het systeem geeft aan welke bol welk kanaalpand symboliseert in het kwetsbaarheidsdiagram van Figuur

| (Nummer) Kanaalpand                     | Score gevoeligheid | Score impact |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------|
| (1) ARK-NZK -0,50 m NAP tot -0,20 m NAP | 14/25 (-/+)        | 10/10 (++)   |
| (2) ARK-NZK -0,20 m NAP tot -0,00 m NAP | 18/25 (+)          | 10/10 (++)   |
| (3) ARK-NZK -0,50 m NAP tot -0,00 m NAP | 17/25 (+)          | 10/10 (++)   |

Tabel 7 Score kwetsbaarheid Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal



Figuur 21 Kwetsbaarheidsdiagram Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal

Uit Figuur 19 valt af te lezen dat het kanaal tussen -0,20 m NAP en 0,00 m NAP en de situatie tussen -0,50 m NAP en 0,00 m NAP kwetsbaarder is dan de situatie tussen -0,50 m NAP en -0,20 m NAP. Dit komt doordat de berging relatief kleiner wordt dan in de eerste situatie of over het geheel bekeken. Daardoor scoort het hoog op gevoeligheidsindicatoren  $T_{vullen}$  en  $T_{bergen}$  vergeleken met de andere situaties. In de bekeken situaties is uitgegaan van een hoge zeewaterstand op de Noordzee en op het Markermeer, waardoor er een afvoerbeperring is bij IJmuiden en de IJpensloter sluisen geen water kunnen afvoeren op het IJsselmeer (Kok, 2019). De beperking van IJmuiden is cruciaal in de hoogwatersituaties. Zonder hoogwater op de Noordzee bedraagt de afvoercapaciteit van IJmuiden 700 m<sup>3</sup>/s via de sluisluizen en 260 m<sup>3</sup>/s via de pompen. Wanneer IJmuiden volledig kan afvoeren zou er volgens de beoordelingsmethode geen probleem zijn. Hiermee is IJmuiden een cruciaal object van het watersysteem.

De gevonden kwetsbaarheden zijn besproken in een gesprek met experts van het systeem. In eerdere studies is er in een veel gedetailleerder niveau is gewerkt met kwantitatieve analyses. Hierin werd benadrukt dat voorkomen moet worden dat de resultaten uit eerdere faalkansanalyses tegengesproken worden door de resultaten uit de kwetsbaarheidsanalyse. Uit eerdere faalkansanalyses is gebleken dat het optreden van hoge waterstanden gedomineerd wordt door het falen van gemaal IJmuiden falen (Hydrologic, 2017). Het verschil tussen de faalkansanalyse en de kwetsbaarheidsanalyse is dat binnen de faalkansanalyse wordt gerekend met herhalingstijden van optredende waterstanden waar dit onderzoek uitgaat van een T100 scenario welke hierna geanalyseerd wordt. Ook uit de kwetsbaarheidsanalyse blijkt dat IJmuiden de zwakste schakel van het Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal is, door de relatief grote afvoercapaciteit en het feit dat deze beperkt wordt door een hoge zeewaterstand. Hiermee wordt de faalkansanalyse niet tegengesproken.

## 7 DISCUSSIE

### 7.1 ONNAUWKEURIGHEID BINNEN GEGEVENS EN BEREKENINGEN

Binnen het onderzoek zijn een aantal aannames en benaderingen gemaakt, die een grote invloed hebben op de nauwkeurigheid van het onderzoek. Dit zit inhoudelijk ook in de aard van het onderzoek, met de focus op de effecten van klimaatveranderingen op het Hoofdwatersysteem. In eerste instantie was het de bedoeling om de wateraanvoer door extreme neerslag per kanaal te berekenen aan de hand van neerslag-afvoer relaties en data van systemen. Dit bleek in de praktijk moeilijk door de beschikbaarheid van data en informatie, aangezien dit voornamelijk gemeten en berekend werd aan de hand van empirische modellen. Gezien het onderzoek een tijdsduur van slechts 10 weken beslaat is hier van afgeweken en gekozen om de wateraanvoer als gevolg van een 48 uur durende bui met een neerslaghoeveelheid van 135 mm vast te stellen op een piekaanvoer die eens in de 100 jaar plaatsvindt. Deze Q100 aanvoer is hiermee slechts een benadering van de potentiële aanvoer. In de bekeken worst-case scenario's wordt ook aangenomen dat de aanvoeren op het watersysteem simultaan plaatsvinden, en maximaal blijven. In de praktijk blijkt dat gevallen neerslag tijdens extreme neerslag op een afwaterend gebied niet altijd resulteert in grote aanvoer op het Hoofdwatersysteem. Zo resulteerde in augustus 2010 een wolkbreek in veel lokale wateroverlast van Waterschap Rijn en IJssel maar dit resulteerde niet in aanvoer op het kanaal (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019).

### 7.2 ONNAUWKEURIGHEID BINNEN BEOORDELING KWETSBAARHEID

Voor het bepalen van de kwetsbaarheid van het Hoofdwatersysteem is er een eerste aanzet gegeven tot een systematische methode die deze kan bepalen. Voor de beoordelingsmethode van de kwetsbaarheid van het Hoofdwatersysteem zijn indicatoren opgesteld om de gevoeligheid en impact van het Hoofdwatersysteem te beoordelen. De kwetsbaarheid wordt bepaald door de som van de impact- en gevoeligheidsindicatoren te nemen. Binnen de beoordeling van de indicatoren is geen prioritering gesteld van de scores tussen verschillende indicatoren. Elke indicator weegt op deze manier even zwaar mee. Zo valt te bediscussiëren of dit de juiste manier is om de kwetsbaarheid te wegen. Een andere onnauwkeurigheid is de gevoeligheid van de indicatoren voor de bergingsruimte van het kanaalpand. De bergingsruimte van het kanaalpand  $V_{\text{berging}}$  wordt gebruikt als input voor drie van de vijf gevoeligheidsindicatoren.

Binnen de beoordeling van kwetsbaarheid is de beoordeling van impact ogenschijnlijk het minst accuraat. Dit komt doordat de score van impact wordt gebaseerd op beschrijvingen van de gevolgen, waar de gevoeligheidsindicatoren bepaald worden aan de hand van berekeningen aan de fysieke kenmerken van een systeem. Ook zijn de verschillen tussen de scores binnen een impactindicator kleiner dan bij de scores op de gevoeligheidsindicatoren. Dit komt omdat er een groot "grijs" gebied zit tussen de kwalitatieve scores van impact: Wanneer is een impact "groot" en wanneer gemiddeld? Door de impact kwantitatief te meten kan dit verholpen worden.

### 7.3 BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK

Aan de hand van opgestelde definitie van kwetsbaarheid, zijn de watersystemen beoordeeld op de mate van gevoeligheid en de impact van wateroverlast op scheepvaart en de directe omgeving. Door enkel te kijken naar de snelheid van reageren en de selectieve impact op enkel de directe omgeving en scheepvaart worden een aantal zaken buiten de beoordeling van kwetsbaarheid gehouden. Een gevolg is dat er geen rekening wordt gehouden met de staat van de keringen: faalmechanismen zoals piping, de staat van de keringen en dynamische zaken als windopzet en translatiegolven worden buiten beschouwing gehouden. Dit is een tekortkoming en een gevolg van de modellering van het watersysteem als een statisch model, met enkel aanvoer en afvoer.

Doordat slechts twee kanten van impact bekeken worden, worden een aantal aspecten buiten perspectief gehouden die lastig meetbaar zijn per kanaal maar zeker een rol spelen in de impact van wateroverlast. Maatschappelijke ontwrichting door het uitvallen van vitale functies zoals ziekenhuizen, infrastructuur en nutsgebouwen worden niet bekeken. Hiervoor zullen de inundatiediepten gemodelleerd moeten worden om een idee te krijgen van de exacte invloed van het extra waterbezwaar.



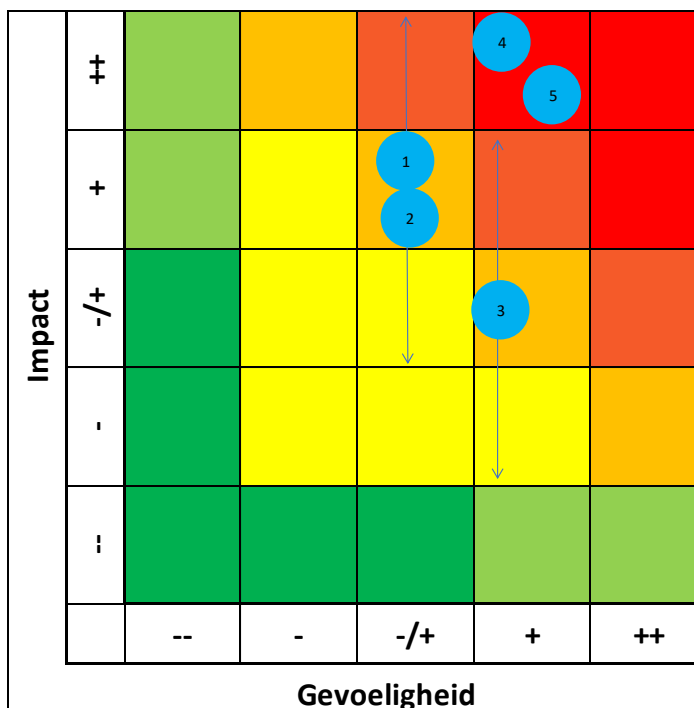
## 8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 8.1 CONCLUSIES

*“Wat zijn de kwetsbare objecten en kanaalpanden binnen watersystemen wanneer deze extreme neerslag ondervinden en zijn deze met een systematische methode in kaart te brengen?”*

De meest kwetsbare onderdelen van het Hoofdwatersysteem zijn weergegeven in Figuur 20. Elk van deze objecten scoort (gemiddeld gezien) hoger dan een kwetsbaarheid van (-/+) x (-/+) op beide assen. In Bijlage C-E staan de toelichtingen en redeneringen tot deze beoordelingen. Dat Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal in dezelfde cel staat als het Grote Pand impliceert niet dat de kwetsbaarheid van deze panden gelijk is aan elkaar. Het zegt iets over de orde van grootte van totale kwetsbaarheid. Binnen deze panden zijn ook een aantal afvoerobjecten die door externe factoren gelimiteerd worden in de afvoercapaciteit. Dit heeft effect op de totale afvoer van het kanaal. De volgende objecten zijn de (bekende) objecten die onder omstandigheden minder kunnen afvoeren dan gewenst:

- Sluis 6 en sluis IV (Het Grote Pand): Uit een debietmeting is gekomen dat deze objecten minder kunnen afvoeren dan oorspronkelijk verwacht (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019).
- De Schabbert (Het Grote Pand): De afvoercapaciteit van de Schabbert ligt lager dan afgesproken staat in het regionale waterakkoord (BWZ Ingenieurs, 2012). Dit komt doordat Aa & Maas benedenstrooms bij de afgesproken waterafvoer lokaal wateroverlast ervaart. (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Dit is voor hen de reden om aan te geven dat er geen wateraanvoer meer mogelijk is. In werkelijkheid ligt deze afvoer rond de 8 m<sup>3</sup>/s wanneer deze optreed tijdens een hoge Maasstand (BWZ Ingenieurs, 2012).
- IJmuiden (Amsterdam-Rijnkanaal): IJmuiden wordt gelimiteerd door een hoge waterstand op de Noordzee. Wanneer deze optreedt simultaan met het gesimuleerde neerslagsscenario wordt het watersysteem significant kwetsbaar. Zonder deze randvoorwaarde zal het systeem het waterbezwaar kunnen afvoeren met de extra beschikbaarheid van vier oude pompen en het spuiwerk. Het falen van IJmuiden is luidt het falen van het watersysteem in.



Figuur 22 Kwetsbaarheidsdiagram grootste kwetsbaarheden

1 :Pand Sluis 4-Schijndel (Brabantse Kanalen)

2: Pand Sluis Schijndel-Hintham-Poeldonk (Brabantse Kanalen)

3: Pand Sluis II-I (Brabantse Kanalen)

4: Grote Pand (Brabantse Kanalen)

5: Amsterdam-Rijnkanaal

Het is middels de ontwikkelde methode gelukt om kwetsbaarheden binnen het Hoofdwatersysteem in kaart te brengen. De gebruikte gegevens, aannames en eisen om de kwetsbaarheid te bepalen zijn te vinden in Bijlage C-E. Deze kwetsbaarheden werden veelal herkend door de regio's. Voor de Twentekanal en de Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen werden deze herkend. De experts van het Amsterdam-Rijnkanaal waren meer sceptisch over de resultaten. Dit komt doordat in het verleden uitgebreide faalkansanalyses zijn uitgevoerd, waardoor het detailniveau van deze studie grover is dan de door hen uitgevoerde studies. Het doel van deze studie is immers om een prioritering voor vervolgende detailstudies op te zetten.

## 8.2 AANBEVELINGEN

Middels de bevindingen en ervaringen tijdens het onderzoek worden hier een aantal aanbevelingen gedaan. Deze aanbevelingen kunnen gebruikt worden bij het uitvoeren van vervolgonderzoek.

Om de nauwkeurigheid van volgende iteraties van kwetsbaarheidsanalyses kunnen een aantal zaken aangepast worden. De gekozen kwetsbaarheidsindicatoren zijn indicatoren gekozen vanwege de toepasbaarheid op de globale systeemschets. Wanneer de watersystemen numeriek zullen worden doorgerekend met dynamische effecten als windopzet en translatiegolven, kunnen deze ook een indicator opmaken. Deze effecten zijn weliswaar buiten de scope van het onderzoek gehouden maar hebben dergelijk een effect op het waterpeil. Afvoercapaciteiten van kanalen zijn vaak afgeronde kentallen. Door debietmetingen uit te voeren kunnen de gevoeligheidsindicatoren nauwkeuriger bepaald worden.

Voor het bepalen van de kwetsbaarheid worden een aantal indicatoren gebruikt voor zowel gevoeligheid als impact. De som van deze indicatoren wordt gelijkgesteld aan de totaalscore van het watersysteem. Hierin zou, weliswaar met gegronde motieven, een relatieve weging ingesteld kunnen worden om zo een meer accurate representatie te kunnen geven van de kwetsbaarheid van een systeem. Zo is het lastig te stellen of de impact van het falen van scheepvaart gelijk staat aan de impact op de directe veiligheid. Ook bij de impactindicatoren kunnen een aantal indicatoren toegevoegd worden om een nog accurater beeld te geven van de impact van wateroverlast. Hiervoor zullen schademodelen gebruikt kunnen worden. Voor het onderzoek is de bovengrens van het streefpeil als randvoorwaarde gebruikt om de gevoeligheid van het systeem voor extreme neerslag te bekijken. Een betere representatie zou gebruik van kadehoogtes zijn.

## VERWIJZINGEN

- BWZ Ingenieurs. (2012). *Onderzoek oplossingen hoogwater-problematiek op de Brabantse Kanalen*.
- Deltacommissaris. (2017). *Deltaprogramma 2018*.
- Deltacommissaris. (2019). *Deltaprogramma: Ruimtelijke adaptatie*. Opgehaald van Deltacommissaris.nl: <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/gebieden-en-generieke-themas/ruimtelijke-adaptatie>
- Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. (2019). *Bijsluitende gestandaardiseerde stresstest Ruimtelijke Adaptatie*. Opgehaald van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluitende/wateroverlast/basisgegevens/>
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat. (1995). *Kwalitatieve risico analyse pomp- en aflatwerken sluizen Twentekanal (huidige situatie)*.
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat. (1996). *Project APAST*.
- Engel, R. (2019, april 18). Interview met Robin Engel (ON) KBN HWS Twentekanal. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- Evers, E. (2018). *Basistabel Functie- en Prestatie-eisen Waterhuishouding*.
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. (2008). *Ontwerp en Bouwrichtlijn Peilreguleende*.
- Hydrologic. (2016). *Redeneerlijn Slim Watermanagement Hoogwater*.
- Hydrologic. (2017). *Hoofdrapport Faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij Wateroverlast*.
- Hydrologic. (2017). *Technisch achtergrondrapport Faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij Wateroverlast*.
- Hydrologic. (2019). *Slim Watermanagement: Nadere uitwerkingen faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij Wateroverlast*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5 °C: Summary for Policymakers*.
- KBN - Rijkswaterstaat. (2019). *Plan van Aanpak Klimaatbestendig Hoofdwatersysteem 2019 concept 1.2*.
- KNMI. (2014). *Kerncijfers klimaatscenario's KNMI'14*. Opgehaald van <http://www.klimaatscenario's.nl/kerncijfers/>
- KNMI. (2019). *Uitleg over Klimaatverandering*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/klimaatverandering>
- Kok, M. (2019, juni 20). Eindinterview met Meinou Kok (WNN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2015). *Nederland, KNMI '14 klimaatscenario's voor Nederland*.
- Mulder, P. (2019, juni 5). Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanal. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- Mulder, P. (2019, april 30). Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanal. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- Raad van State. (2009). *Waterwet*. Opgeroepen op mei 26, 2019, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-07-01>
- Rijkswaterstaat. (2011). *Waterakkoord Twenthekanalen / Overijsselsche Vecht*.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Rijkswaterstaat Algemene Presentatie*.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Our organisation*. Opgehaald van Rijkswaterstaat.nl: <https://www.rijkswaterstaat.nl/english/about-us/our-organisation/index.aspx>
- Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland. (2010). *Samenhang afvoeren IJssel en Twentekanal*.
- Rijkswaterstaat Dir. Oost Nederland. (1995). *Bepaling schutwaterverliezen van de sluizen in de Twenthekanalen*.
- Rijkswaterstaat Oost Nederland. (2007). *Analyse historische hydraulische parameters Twentekanaal*.
- Rijkswaterstaat WVL. (2018). *Projectplan Klimaatbestendige Netwerken*.
- Rijkswaterstaat Zuid-Nederland. (2018). *Plan van Aanpak RTC kanalen*.
- Rijkswaterstaat Zuid-Nederland. (2018). *Waterakkoord Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen 50%*.
- Stichting Climate Adaptation Services. (2019). *Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie 2018*. Opgehaald van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/website/over-ons/>
- STOWA. (2018). *Nieuwe Neerslagstatistieken voor Korte Tijdsduren*.
- STOWA. (2019). *Notitie standaarden voor de stresstest wateroverlast*.
- Tijssen, R. (2019, juni 13). Oriënterend interview met Rob Tijssen (Waternet) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- Verstraelen, J. (2019, juni 11). Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- Verstraelen, J., & Hengel, W. v. (2019, mei 7). Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen. (B. Schleipfenbauer, Interviewer)
- W+B Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland. (2011). *Modelmatige onderbouwing capaciteit aflaatwerken Eefde*.

Witteveen+Bos. (2015). *Berekening aflaatdebieten sluizen Delden en Hengelo*.

Witteveen+Bos. (2017). *Stedelijk waterbeheer kanalen; Eindrapportage*.

Witteveen+Bos. (2019). *Uitwerking stresstest RWS kanalen Zuid-Nederland*.

## BIJLAGE

## BIJLAGE A – KNMI'14-KLIMAATSCENARIO'S

Klimaatverandering rond 2050  Uitleg

| Kerncijfers KNMI'14-klimaatscenario's                                      |                             |                                                                                |                                      |                                                                |                                                                                   |                                           |                                           |                                           |                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Seizoen <sup>A)</sup>                                                      | Variabele                   | Indicator                                                                      | Klimaat <sup>B)</sup><br>1951-1980   | Klimaat <sup>B)</sup><br>1981-2010<br>= referentie-<br>periode | Scenario veranderingen voor het klimaat<br>rond 2050 <sup>C)</sup><br>(2036-2065) |                                           |                                           |                                           | Natuurlijke<br>variabiliteit               |
|                                                                            |                             |                                                                                |                                      |                                                                | G <sub>L</sub><br>+1 °C<br>Lage<br>waarde                                         | G <sub>H</sub><br>+1 °C<br>Hoge<br>waarde | W <sub>L</sub><br>+2 °C<br>Lage<br>waarde | W <sub>H</sub><br>+2 °C<br>Hoge<br>waarde | gemiddeld<br>over 30<br>jaar <sup>D)</sup> |
| Wereldwijde temperatuurstijging:<br>Verandering van luchtstromingspatroon: |                             |                                                                                |                                      |                                                                |                                                                                   |                                           |                                           |                                           |                                            |
| Jaar                                                                       | Zeespiegel bij Noordzeekust | absolute niveau <sup>E)</sup>                                                  | 4 cm beneden NAP                     | 3 cm boven NAP                                                 | +15 tot +30 cm                                                                    | +15 tot +30 cm                            | +20 tot +40 cm                            | +20 tot +40 cm                            | ± 1,4 cm                                   |
|                                                                            |                             | tempo van verandering                                                          | 1,2 mm/jaar                          | 2,0 mm/jaar                                                    | +1 tot +5,5 mm/jaar                                                               | +1 tot +5,5 mm/jaar                       | +3,5 tot +7,5 mm/jaar                     | +3,5 tot +7,5 mm/jaar                     | ± 1,4 mm/jaar                              |
|                                                                            | Temperatuur                 | gemiddelde                                                                     | 9,2 °C                               | 10,1 °C                                                        | +1,0 °C                                                                           | +1,4 °C                                   | +2,0 °C                                   | +2,3 °C                                   | ± 0,16 °C                                  |
|                                                                            | Neerslag                    | gemiddelde hoeveelheid                                                         | 774 mm                               | 851 mm                                                         | +4%                                                                               | +2,5%                                     | +5,5%                                     | +5%                                       | ± 4,2%                                     |
|                                                                            | Zonnestraling               | zonnestraling                                                                  | 346 kJ/cm <sup>2</sup> <sup>F)</sup> | 354 kJ/cm <sup>2</sup>                                         | +0,6%                                                                             | +1,6%                                     | -0,8%                                     | +1,2%                                     | ± 1,6%                                     |
| Winter                                                                     | Verdamping                  | potentiele verdamping (Makkink)                                                | 534 mm <sup>F)</sup>                 | 559 mm <sup>G)</sup>                                           | +3%                                                                               | +5%                                       | +4%                                       | +7%                                       | ± 1,9%                                     |
|                                                                            | Mist                        | aantal uren met zicht minder dan 1 km                                          | 412 uur                              | 300 uur                                                        | -110 uur                                                                          | -110 uur                                  | -110 uur                                  | -110 uur                                  | ± 39 uur                                   |
|                                                                            | Temperatuur                 | gemiddelde                                                                     | 2,4 °C                               | 3,4 °C                                                         | +1,1 °C                                                                           | +1,6 °C                                   | +2,1 °C                                   | +2,7 °C                                   | ± 0,48 °C                                  |
|                                                                            |                             | jaar-op-jaar variaties <sup>H)</sup>                                           | -                                    | ± 2,6 °C                                                       | -8%                                                                               | -16%                                      | -13%                                      | -20%                                      | -                                          |
|                                                                            |                             | dagmaximum                                                                     | 5,1 °C                               | 6,1 °C                                                         | +1,0 °C                                                                           | +1,6 °C                                   | +2,0 °C                                   | +2,5 °C                                   | ± 0,46 °C                                  |
|                                                                            |                             | dagminimum                                                                     | -0,3 °C                              | 0,5 °C                                                         | +1,1 °C                                                                           | +1,7 °C                                   | +2,2 °C                                   | +2,8 °C                                   | ± 0,51 °C                                  |
|                                                                            |                             | koudste winterdag per jaar                                                     | -7,5 °C                              | -5,9 °C                                                        | +2,0 °C                                                                           | +3,6 °C                                   | +3,9 °C                                   | +5,1 °C                                   | ± 0,91 °C                                  |
|                                                                            | Neerslag                    | zachtste winterdag per jaar                                                    | 10,3 °C                              | 11,1 °C                                                        | +0,6 °C                                                                           | +0,9 °C                                   | +1,7 °C                                   | +1,7 °C                                   | ± 0,42 °C                                  |
|                                                                            |                             | aantal vorstdagen (min temp < 0 °C)                                            | 42 dagen                             | 38 dagen                                                       | -30%                                                                              | -45%                                      | -50%                                      | -60%                                      | ± 9,5%                                     |
|                                                                            |                             | aantal ijsdagen (max temp < 0 °C)                                              | 11 dagen                             | 7,2 dagen                                                      | -50%                                                                              | -70%                                      | -70%                                      | -90%                                      | ± 31%                                      |
|                                                                            |                             | gemiddelde hoeveelheid                                                         | 188 mm                               | 211 mm                                                         | +3%                                                                               | +8%                                       | +8%                                       | +17%                                      | ± 8,3%                                     |
|                                                                            |                             | jaar-op-jaar variaties <sup>H)</sup>                                           | -                                    | ± 96 mm                                                        | +4,5%                                                                             | +9%                                       | +10%                                      | +17%                                      | -                                          |
|                                                                            | Wind                        | 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden <sup>I)</sup>  | 80 mm                                | 89 mm                                                          | +6%                                                                               | +10%                                      | +12%                                      | +17%                                      | ± 11%                                      |
|                                                                            |                             | aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)                                                  | 56 dagen                             | 55 dagen                                                       | -0,3%                                                                             | +1,4%                                     | -0,4%                                     | +2,4%                                     | ± 4,7%                                     |
|                                                                            |                             | aantal dagen ≥ 10 mm                                                           | 4,1 dagen                            | 5,3 dagen                                                      | +9,5%                                                                             | +19%                                      | +20%                                      | +35%                                      | ± 14%                                      |
|                                                                            |                             | gemiddelde windsnelheid                                                        | -                                    | 6,9 m/s                                                        | -1,1%                                                                             | +0,5%                                     | -2,5%                                     | +0,9%                                     | ± 3,6%                                     |
|                                                                            |                             | hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar                                    | -                                    | 15 m/s                                                         | -3%                                                                               | -1,4%                                     | -3%                                       | 0,0%                                      | ± 3,9%                                     |
| Lente                                                                      | Temperatuur                 | aantal dagen met windrichting tussen zuid en west                              | 44 dagen                             | 49 dagen                                                       | -1,4%                                                                             | +3%                                       | -1,7%                                     | +4,5%                                     | ± 6,4%                                     |
|                                                                            |                             | gemiddelde                                                                     | 8,3 °C                               | 9,5 °C                                                         | +0,9 °C                                                                           | +1,1 °C                                   | +1,8 °C                                   | +2,1 °C                                   | ± 0,24 °C                                  |
|                                                                            |                             | gemiddelde hoeveelheid                                                         | 148 mm                               | 173 mm                                                         | +4,5%                                                                             | +2,3%                                     | +11%                                      | +9%                                       | ± 8,0%                                     |
|                                                                            |                             | gemiddelde                                                                     | 16,1 °C                              | 17,0 °C                                                        | +1,0 °C                                                                           | +1,4 °C                                   | +1,7 °C                                   | +2,3 °C                                   | ± 0,25 °C                                  |
|                                                                            |                             | jaar-op-jaar variaties <sup>H)</sup>                                           | -                                    | ± 1,4 °C                                                       | +3,5%                                                                             | +7,5%                                     | +4%                                       | +9,5%                                     | -                                          |
|                                                                            | Neerslag                    | dagmaximum                                                                     | 20,7 °C                              | 21,9 °C                                                        | +0,9 °C                                                                           | +1,4 °C                                   | +1,5 °C                                   | +2,3 °C                                   | ± 0,35 °C                                  |
|                                                                            |                             | dagminimum                                                                     | 11,2 °C                              | 11,9 °C                                                        | +1,1 °C                                                                           | +1,3 °C                                   | +1,9 °C                                   | +2,2 °C                                   | ± 0,18 °C                                  |
|                                                                            |                             | koelste zomerdag per jaar                                                      | 10,3 °C                              | 11,1 °C                                                        | +0,9 °C                                                                           | +1,1 °C                                   | +1,6 °C                                   | +2,0 °C                                   | ± 0,43 °C                                  |
|                                                                            |                             | warmste zomerdag per jaar                                                      | 23,2 °C                              | 24,7 °C                                                        | +1,4 °C                                                                           | +1,9 °C                                   | +2,3 °C                                   | +3,3 °C                                   | ± 0,52 °C                                  |
|                                                                            |                             | aantal zomerse dagen (max temp ≥ 25 °C)                                        | 13 dagen                             | 21 dagen                                                       | +22%                                                                              | +35%                                      | +40%                                      | +70%                                      | ± 13%                                      |
|                                                                            | Zomer                       | aantal tropische nachten (min temp ≥ 20 °C)                                    | < 0,1 dagen                          | 0,1 dagen                                                      | +0,5%                                                                             | +0,6%                                     | +1,4%                                     | +2,2%                                     | -                                          |
|                                                                            |                             | gemiddelde hoeveelheid                                                         | 224 mm                               | 224 mm                                                         | +1,2%                                                                             | -8%                                       | +1,4%                                     | -13%                                      | ± 9,2%                                     |
|                                                                            |                             | jaar-op-jaar variaties <sup>H)</sup>                                           | -                                    | ± 113 mm                                                       | +2,1 tot +5%                                                                      | -2,5 tot +1,0%                            | +1,4 tot +7%                              | -4 tot +2,2%                              | -                                          |
|                                                                            |                             | dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden <sup>I)</sup> | 44 mm                                | 44 mm                                                          | +1,7 tot +10%                                                                     | +2,0 tot +13%                             | +3 tot +21%                               | +2,5 tot +22%                             | ± 15%                                      |
|                                                                            |                             | maximum urneerslag per jaar                                                    | 14,9 mm/uur                          | 15,1 mm/uur                                                    | +5,5 tot +11%                                                                     | +7 tot +14%                               | +12 tot +23%                              | +13 tot +25%                              | ± 14%                                      |
|                                                                            | Zonnestraling               | aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)                                                  | 45 dagen                             | 43 dagen                                                       | +0,5%                                                                             | -5,5%                                     | +0,7%                                     | -10%                                      | ± 6,4%                                     |
|                                                                            |                             | aantal dagen ≥ 20 mm                                                           | 1,6 dagen                            | 1,7 dagen                                                      | +4,5 tot +18%                                                                     | -4,5 tot +10%                             | +6 tot +30%                               | -8,5 tot +14%                             | ± 24%                                      |
|                                                                            |                             | zonnestraling                                                                  | 149 kJ/cm <sup>2</sup> <sup>F)</sup> | 153 kJ/cm <sup>2</sup>                                         | +2,1%                                                                             | +5%                                       | +1,0%                                     | +6,5%                                     | ± 2,4%                                     |
|                                                                            | Vochtigheid                 | relatieve vochtigheid                                                          | 78%                                  | 77%                                                            | -0,6%                                                                             | -2,0%                                     | +0,1%                                     | -2,5%                                     | ± 0,86%                                    |
|                                                                            | Verdamping                  | potentiele verdamping (Makkink)                                                | 253 mm <sup>F)</sup>                 | 266 mm                                                         | +4%                                                                               | +7%                                       | +4%                                       | +11%                                      | ± 2,8%                                     |
| Herfst                                                                     | Droogte                     | gemiddeld hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen <sup>J)</sup>      | 140 mm                               | 144 mm                                                         | +4,5%                                                                             | +20%                                      | +0,7%                                     | +30%                                      | ± 13%                                      |
|                                                                            | Temperatuur                 | hoogste neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden <sup>K)</sup> | -                                    | 230 mm                                                         | +5%                                                                               | +17%                                      | +4,5%                                     | +25%                                      | -                                          |
|                                                                            |                             | gemiddelde                                                                     | 10,0 °C                              | 10,6 °C                                                        | +1,1 °C                                                                           | +1,3 °C                                   | +2,2 °C                                   | +2,3 °C                                   | ± 0,27 °C                                  |
|                                                                            |                             | Neerslag                                                                       | 214 mm                               | 245 mm                                                         | +7%                                                                               | +8%                                       | +3%                                       | +7,5%                                     | ± 9,0%                                     |

Figuur 23 Kentallen van de KNMI'14 scenario's

BIJLAGE B - BEOORDELING GEVOELIGHEIDSINDICATOREN

| Kwalitatieve score   | Gevoeligheidsindicator | Interval indicator                                                                                                                                                                         | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - -, -, -/+ , + , ++ | T <sub>bergen</sub>    | - - = T <sub>bergen</sub> > 48<br>- = 24 < T <sub>bergen</sub> < 48<br>-/+ = 12 < T <sub>bergen</sub> < 24<br>+ = 6 < T <sub>bergen</sub> < 12<br>++ = T <sub>bergen</sub> < 6             | Voor de tijdsintervallen T <sub>bergen</sub> , T <sub>vullen</sub> , en T <sub>herstel</sub> is er gekozen voor natuurlijke tijds aanduidingen. Dit zijn meervouden van een etmaal, om voor de uiteindelijke risicodialoog een herkenbaar kental te presenteren.                          |
| - -, -, -/+ , + , ++ | T <sub>vullen</sub>    | - - = T <sub>vulling</sub> > 12<br>- = 9 < T <sub>vulling</sub> < 12<br>-/+ = 6 < T <sub>vulling</sub> < 9<br>+ = 3 < T <sub>vulling</sub> < 6<br>++ = T <sub>vulling</sub> < 3            | Hiervoor is er gekeken naar de tijdsschaal van T <sub>bergen</sub> . T <sub>vulling</sub> en T <sub>herstel</sub> zijn over het algemeen veel kleiner dan T <sub>bergen</sub> omdat de gebruikte af- of aanvoeren groter zijn, wat resulteert in een kortere benodigde tijd (Formule 7&9) |
| - -, -, -/+ , + , ++ | T <sub>herstel</sub>   | - - = T <sub>herstel</sub> < 3<br>- = 3 < T <sub>herstel</sub> < 6<br>-/+ = 6 < T <sub>herstel</sub> < 9<br>+ = 9 < T <sub>herstel</sub> < 12<br>++ = T <sub>herstel</sub> > 12            |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| - -, -, -/+ , + , ++ | N <sub>afvoer</sub>    | - - = N > 8<br>- = 6 < N < 8<br>-/+ = 4 < N < 6<br>+ = 2 < N < 4<br>++ = N < 2                                                                                                             | Voor dit kental is er gekeken naar een gangbaar aantal afvoermogelijkheden. Wanneer er 0 of 1 afvoermogelijkheden zijn wordt dit gezien als kwetsbaar, 2 of 3 mogelijkheden als gering kwetsbaar.                                                                                         |
| - -, -, -/+ , + , ++ | R <sub>tekort</sub>    | - - = R <sub>tekort</sub> < 0<br>- = 0 < R <sub>tekort</sub> < 0,25<br>-/+ = 0,25 < R <sub>tekort</sub> < 0,50<br>+ = 0,50 < R <sub>tekort</sub> < 1,00<br>++ = R <sub>tekort</sub> > 1,00 | Een relatief R <sub>tekort</sub> van 0.5 impliceert dat 50% extra afvoer de aanvoer kan compenseren.                                                                                                                                                                                      |

Tabel 8 Bepoordeling van gevoeligheidsindicatoren

## BIJLAGE C – BEREKENEN KWETSBAARHEID TWENTEKANALEN

### KWETSBAARHEID ENSCHEDE-HENGLO

| Input-variabele              | Waarde                  | Bron                                                                                        |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                        | 62 ha                   | (Rijkswaterstaat, 2011)                                                                     |
| $(h_{\max}-h_0)$             | 0,20 m                  | Bijlage F                                                                                   |
| $V_{\text{berging}}$         | 124000 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                   |
| <b>Aanvoer</b>               |                         |                                                                                             |
| $Q_{\text{neerslag}}$        | 0,48 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                                                                   |
| $Q_{\text{aanvoer}}$         | 14 m <sup>3</sup> /s    | (Mulder, Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalén, 2019) |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$    | 0                       | (Rijkswaterstaat, 2011)                                                                     |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$    | 14,48 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                   |
| <b>Afvoer</b>                |                         |                                                                                             |
| $Q_{\text{afvoer\_Hengelo}}$ | 4,2 m <sup>3</sup> /s   | (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996)                    |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$     | 4,2 m <sup>3</sup> /s   | Formule 5                                                                                   |
| $Q_{\text{extra}}$           | 14,0 m <sup>3</sup> /s  | (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996)                    |
| $Q_{\max}$                   | 18,2 m <sup>3</sup> /s  | Formule 6                                                                                   |
| $Q_{\text{verschil}}$        | 12,28 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                   |

Tabel 9 Input Enschede-Hengelo

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score             | Kwalitatieve score |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 3,35 uur                        | ++                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 2,38 uur                        | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,95 uur                        | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 2 (Schutkolk en heffen deuren ) | ++                 |
| $R_{\text{tekort}}$    | 2,45                            | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                 | +                  |

Tabel 10 Gevoeligheid Enschede-Hengelo

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                            | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Er is geringe scheepvaart aanwezig. De scheepvaart die aanwezig is bestaat voornamelijk uit recreatieve scheepvaart waardoor de stremming geen grote impact heeft (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalén, 2019). | -                  |
| Impact op directe omgeving | Voordat de keringen zullen overstroomén is er veel bufferruimte aanwezig. Bij wateroverlast is er bekend dat een camping onder water komt te staan.                                                                                                                    | -                  |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                        | -                  |

Tabel 11 Impact Enschede-Hengelo



## KWETSBAARHEID HENGELO-DELLEN

| Input-variabele             | Waarde                   | Bron                                                                     |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                       | 74 ha                    | (Rijkswaterstaat, 2011)                                                  |
| $(h_{\max}-h_0)$            | 0,45 m                   | Bijlage F                                                                |
| $V_{\text{berging}}$        | 3.330.000 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                |
| <b>Aanvoer</b>              |                          |                                                                          |
| $Q_{\text{neerslag}}$       | 0,58 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                |
| $Q_{\text{aanvoer}}$        | 17,62                    | (Rijkswaterstaat, 2011)                                                  |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$   | 4,20                     | Tabel 8                                                                  |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$   | 14,48 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                |
| <b>Afvoer</b>               |                          |                                                                          |
| $Q_{\text{afvoer\_Delden}}$ | 15,63 m <sup>3</sup> /s  | (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$    | 15,63 m <sup>3</sup> /s  | Formule 5                                                                |
| $Q_{\text{extra}}$          | 34,50 m <sup>3</sup> /s  | (W+B Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland, 2011)                        |
| $Q_{\text{max}}$            | 50,13 m <sup>3</sup> /s  | Formule 6                                                                |
| $Q_{\text{verschil}}$       | 6,77 m <sup>3</sup> /s   | Formule 7                                                                |

Tabel 12 Input Hengelo-Delden

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                            | Kwalitatieve score |
|------------------------|------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 136,67 uur                                     | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 41,30 uur                                      | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 2,09 uur                                       | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 (Schutkolk + aflatwerk+ heffen sluisdeuren ) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,43                                           | -/+                |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                | -                  |

Tabel 13 Gevoeligheid Hengelo-Delden

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kwalitatieve score |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Stremming is niet gewenst door de containervaart op dit kanaalpand. Wateroverlast heeft hiermee grote impact doordat wanneer gestremd, de beroepsvaart de haven van Hengelo niet meer kan bereiken.                                                                                     | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Net als bij kanaalpand Enschede-Hengelo is hier veel bufferruimte voordat water over de keringen komt. Mocht het water hoog komen te staan, komt er een camping onder water te staan (Mulder, Oriënterend interview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanal, 2019). | -                  |
| <b>Totaalscore</b>         | <b>Toelichting</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>-/+</b>         |

Tabel 14 Impact Hengelo-Delden

## KWETSBAARHEID DELDEN-EEFDE-ALMELO

| Input-variabele            | Waarde                   | Bron                                                                                        |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                      | 430 ha                   | (Rijkswaterstaat, 2011)                                                                     |
| $(h_{\max}-h_0)$           | 0,20 m                   | Bijlage F                                                                                   |
| $V_{\text{berging}}$       | 8.600.000 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                   |
| <b>Aanvoer</b>             |                          |                                                                                             |
| $Q_{\text{neerslag}}$      | 3,36 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                   |
| $Q_{\text{aanvoer}}$       | 152,2 m <sup>3</sup> /s  | (Mulder, Eindinterview met Peter Mulder (ON) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Twentekanalen, 2019) |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$  | 15,63                    | Tabel 11                                                                                    |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$  | 171,15 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                   |
| <b>Afvoer</b>              |                          |                                                                                             |
| $Q_{\text{afvoer\_Eefde}}$ | 175 m <sup>3</sup> /s    | (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996)                    |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$   | 175 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                   |
| $Q_{\text{extra}}$         | 25 m <sup>3</sup> /s     | (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat: Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1996)                    |
| $Q_{\text{max}}$           | 200 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                   |
| $Q_{\text{verschil}}$      | -3,85 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                                                                   |

Tabel 15 Input Delden-Eefde-Almelo

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                      | Kwalitatieve score |
|------------------------|------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | < 0                                      | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 13,96 uur                                | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 5,97 uur                                 | -                  |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3,00 stuks (2 aflaatwerken en sluiskolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | <0                                       | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                          | -                  |

Tabel 16 Gevoeligheid Delden-Eefde-Almelo

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                               | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Stremming is niet gewenst door de containervaart op dit kanaalpand. Het kanaalpand vormt de verbinding tussen de IJssel en de haven bij Hengelo.                          | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Wanneer het water hoog komt te staan en over de deuren zou stromen, zou dit direct in de IJssel terechtkomen. Bij hoogwater komt het water op de kade van Almelo te staan | -                  |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                           | -/+                |

Tabel 17 Impact Delden-Eefde-Almelo

## BIJLAGE D – BEREKENEN KWETSBAARHEID MIDDEN-LIMBURGSE EN NOORD-BRABANTSE KANALEN

### KWETSBAARHEID PAND SLUIS 16-15

| Input-variabele           | Waarde                  | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 18,552 ha               | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,21 m                  | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 38.959 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,15 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 0,15 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_15}}$   | 8,5 m <sup>3</sup> /s   | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 8,5 m <sup>3</sup> /s   | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 1,5 m <sup>3</sup> /s   | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 10 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | -9,85 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 18 Input Pand Sluis 16-15

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score             | Kwalitatieve score |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | < 0                             | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 74,67 uur                       | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 1,08 uur                        | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 2,00 stuks (Spuiwerk+sluiskolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | <0                              | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                 | --                 |

Tabel 19 Gevoeligheid Pand Sluis 16-15

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op scheepvaart. Het is hier nog nooit fout gegaan, waardoor hier ook niet meer informatie over is. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)         | -- → ++            |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Het is hier nog nooit fout gegaan, waardoor hier ook niet meer informatie over is. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | -- → ++            |

Tabel 20 Impact Pand Sluis 16-15

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 15-13-PANHEEL-HULSEN

| Input-variabele                   | Waarde                  | Bron                                                                                                                                 |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                             | 83,695 ha               | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$                  | 0,09 m                  | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$              | 75.325,5 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>                    |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$             | 0,65 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$              | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$         | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$         | 0,65 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>                     |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_Noordervaart}}$ | 6 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{afvoer\_Panheel}}$      | 2 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$          | 8 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$                | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$                  | 8 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$             | -7,35 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 21 Input Pand Sluis 15-13-Panheel-Hulsen

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                                                   | Kwalitatieve score |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | <0                                                                    | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 32,0 uur                                                              | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 2,62 uur                                                              | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 7 stuks<br>(Schutkolk+spuiwerk+rinketten+Panheel(2 kolken)+gemaal NV) | -                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | <0                                                                    | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                                       | --                 |

Tabel 22 Gevoeligheid Pand Sluis 15-13-Panheel-Hulsen

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Doordat watertoevoer van het pand wordt afgesloten en daarmee de scheepvaart, wanneer het Grote Pand met hoogwater kampt, wordt de impact op dit pand enkel gekoppeld aan hoogwater op het Grote Pand. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                    | --                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Doordat de watertoevoer naar het kanaalpand wordt gestopt en er verder geen aanvoeren op het kanaal zitten is het hier nog niet misgegaan. Daarom is de impact niet bekend. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -- → -/+           |

Tabel 23 Impact Pand Sluis 15-13-Panheel-Hulsen

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 13-12

| Input-variabele           | Waarde                   | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 5,18 ha                  | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,25 m                   | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 12.939,25 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,04 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 0,04 m <sup>3</sup> /s   | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_12}}$   | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 0 m <sup>3</sup> /s      | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 0 m <sup>3</sup> /s      | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,04 m <sup>3</sup> /s   | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 24 Input Pand Sluis 13-12

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                    | Kwalitatieve score |
|------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 88,89 uur                              | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 88,89 uur                              | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | -                                      | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Schutkolk+spuiwerk+rinketten) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | -                                      | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                        | --                 |

Tabel 25 Gevoeligheid Pand Sluis 13-12

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Doordat watertoevoer van het pand wordt afgesloten en daarmee de scheepvaart, wanneer het Grote Pand met hoogwater kampt, wordt de impact op dit pand enkel gekoppeld aan hoogwater op het Grote Pand. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                    | --                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Doordat de watertoevoer naar het kanaalpand wordt gestopt en er verder geen aanvoeren op het kanaal zitten is het hier nog niet misgegaan. Daarom is de impact niet bekend. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -- → -/+           |

Tabel 26 Impact Pand Sluis 13-12

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 12-11

| Input-variabele           | Waarde                 | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 13,712 ha              | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,2 m                  | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 27424 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,11 m <sup>3</sup> /s | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0,2 m <sup>3</sup> /s  | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 0,31 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_11}}$   | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,31 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 27 Input Pand Sluis 12-11

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                    | Kwalitatieve score |
|------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 24,80 uur                              | -                  |
| $T_{\text{vullien}}$   | 24,80 uur                              | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | -                                      | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Schutkolk+spuiwerk+rinketten) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | -                                      | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                        | -                  |

Tabel 28 Gevoeligheid Pand Sluis 12-11

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Doordat watertoevoer van het pand wordt afgesloten en daarmee de scheepvaart, wanneer het Grote Pand met hoogwater kampt, wordt de impact op dit pand enkel gekoppeld aan hoogwater op het Grote Pand. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                    | --                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Doordat de watertoevoer naar het kanaalpand wordt gestopt en er verder geen aanvoeren op het kanaal zitten is het hier nog niet misgegaan. Daarom is de impact niet bekend. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -- → -/+           |

Tabel 29 Impact Pand Sluis 12-11

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 11-10

| Input-variabele           | Waarde                 | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 7,3261 ha              | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,2 m                  | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 14652 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,06 m <sup>3</sup> /s | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 0,06 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_10}}$   | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,06 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 30 Input Pand Sluis 11-10

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                    | Kwalitatieve score |
|------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 71,11 uur                              | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 71,11 uur                              | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | -                                      | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Schutkolk+spuiwerk+rinketten) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | -                                      | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                        | --                 |

Tabel 31 Gevoeligheid Pand Sluis 11-10

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Doordat watertoevoer van het pand wordt afgesloten en daarmee de scheepvaart, wanneer het Grote Pand met hoogwater kampt, wordt de impact op dit pand enkel gekoppeld aan hoogwater op het Grote Pand. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                    | --                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Doordat de watertoevoer naar het kanaalpand wordt gestopt en er verder geen aanvoeren op het kanaal zitten is het hier nog niet misgegaan. Daarom is de impact niet bekend. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -- → -/+           |

Tabel 32 Impact Pand Sluis 11-10

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 10-9-HELMOND

| Input-variabele              | Waarde                 | Bron                                                                                                                                 |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                        | 35,7383 ha             | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$             | 0,3 m                  | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$         | 14652 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>               |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$        | 0,28 m <sup>3</sup> /s | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$         | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$    | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$    | 0,28 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>                |                        |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer}_9}$        | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{afvoer\_Helmond}}$ | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$     | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$           | 0 m <sup>3</sup> /s    | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$             | 0 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$        | 0,04 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 33 Input Pand Sluis 10-9-Helmond

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                             | Kwalitatieve score |
|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 106,67 uur                                      | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 106,67 uur                                      | --                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | -                                               | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 4 stuks (Schutkolk+tweemaal spuiwerk+rinketten) | -/+                |
| $R_{\text{tekort}}$    | -                                               | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                 | --                 |

Tabel 34 Gevoeligheid Pand Sluis 10-9-Helmond

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kwalitatieve score |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Doordat watertoevoer van het pand wordt afgesloten en daarmee de scheepvaart, wanneer het Grote Pand met hoogwater kampt, wordt de impact op dit pand enkel gekoppeld aan hoogwater op het Grote Pand. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                    | --                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Doordat de watertoevoer naar het kanaalpand wordt gestopt en er verder geen aanvoeren op het kanaal zitten is het hier nog niet misgegaan. Daarom is de impact niet bekend. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -- → -/+           |

Tabel 35 Impact Pand Sluis 10-9-Helmond



# KWETSBAARHEID GROTE PAND

| Input-variabele                | Waarde                    | Bron                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                          | 141,5819                  | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $(h_{\max}-h_0)$               | 0,15 m                    | Bijlage F                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $V_{\text{berging}}$           | 212.372,85 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Aanvoer</b>                 |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $Q_{\text{neerslag}}$          | 1,11 m <sup>3</sup> /s    | Formule 2                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $Q_{\text{aanvoer}}$           | 126,37 m <sup>3</sup> /s  | (BWZ Ingenieurs, 2012); (Witteveen+Bos, 2017); (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018).<br>Vergeleken met het rapport van BWZ Ingenieurs zijn de T100 aanvoeren "Muizenhol" en "Vossenbeemd" vergroot met 20% in plaats van 10%. 317 ha stedelijke afvoer watert af op het kanaal |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$      | 3 m <sup>3</sup> /s       | Traverse Helmond                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$      | 130,48 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Afvoer</b>                  |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $Q_{\text{afvoer\_IV}}$        | 25 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                                                                                                             |
| $Q_{\text{afvoer\_6}}$         | 18 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                                                                                                             |
| $Q_{\text{afvoer\_Schabbert}}$ | 8 m <sup>3</sup> /s       | (BWZ Ingenieurs, 2012)                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$       | 51 m <sup>3</sup> /s      | Formule 5                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $Q_{\text{extra}}$             | 18 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                                                                                                             |
| $Q_{\text{max}}$               | 69 m <sup>3</sup> /s      | Formule 6                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $Q_{\text{verschil}}$          | 59 m <sup>3</sup> /s      | Formule 7                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Tabel 36 Input Grote Pand

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                                                                       | Kwalitatieve score |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 0,74 uur                                                                                  | ++                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 0,45 uur                                                                                  | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,85 uur                                                                                  | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 7 stuks (IV: Schutkolk+ twee omloopriolen, 6: 2x schuif + schutkolk, Schabbert: spuiwerk) | -                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,89                                                                                      | +                  |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                                                           | +                  |

Tabel 37 Gevoeligheid Grote Pand

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kwalitatieve score |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Hoogwater op het Grote Pand heeft een aantal gevolgen voor de scheepvaart, zowel op het kanaal als op andere kanaalpanden. Wanneer het Grote Pand wateroverlast ondervindt zal de wateraanvoer gestopt worden op de Zuid-Willemsvaart Zuid om het Grote Pand te ontzien (Verstraelen & Hengel, Oriënterend interview met Joëlle Verstraelen en Wim van Hengel (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Ook zal maximale aanvoer benut worden door de afvoerende objecten de Schabbert, sluis IV en sluis 6. Doordat er nu door de sluiskolk gespuid wordt is ook hier scheepvaart niet meer mogelijk. Stremming van beide kanalen zal een schade van 150.000 per dag hebben (BWZ Ingenieurs, 2012). Dit is 30 maal zoveel als enkel sluis 6. | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Van het Grote Pand is een eerste inventarisatie van lokale kwetsbaarheden opgesteld (Witteveen+Bos, 2019). Hiervoor is er gekeken naar de ligging van het kanaal ten opzichte van de omgeving. Er zijn een vijftal kwetsbare locaties gevonden waar het kanaal verhoogd ligt ten opzichte van de omgeving. Nabij het dorp Son ligt het kanaal in een bebouwde omgeving met veel bebouwing onder streefpeil aan de noordzijde van het kanaal. Bij locaties Beek en Donk, Stad van Gerwen, Haghorst en tussen Eindhoven en Stad van Gerwen ligt het kanaal verhoogd ten opzichte van de omgeving. Tussen Eindhoven en Stad van Gerwen zitten een aantal lage gedeeltes in de dijk. Bij Beek en Donk zit een laag gedeelte in de kering in een bebouwde omgeving                          | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ++                 |

Tabel 38 Impact Grote Pand

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS IV-III

| Input-variabele           | Waarde                   | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 64,3261 ha               | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,3 m                    | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 192.978,3 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| Aanvoer                   |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,50 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0,49 m <sup>3</sup> /s   | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 25 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 25,99 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| Afvoer                    |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_III}}$  | 30 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 30 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 10 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 40 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | -0,13 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 39 Input Pand Sluis IV-III

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                       | Kwalitatieve score |
|------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | -13,37 uur                                | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 2,06 uur                                  | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 1,34                                      | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 4stuks (Schutkolk+spuiwerk+ 2x rinketten) | -/+                |
| $R_{\text{tekort}}$    | <0                                        | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                           | -                  |

Tabel 40 Gevoeligheid Pand Sluis IV-III

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil op het Wilhelminakanaal te hoog staat en/of het waterpeil op het Grote Pand hoog staat, zal het niet mogelijk zijn om deze kanalen te bevaren. Een stremming van scheepvaart zal 50.000 euro per dag kosten (BWZ Ingenieurs, 2012).                                                                                   | +                  |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - → +              |

Tabel 41 Impact Pand Sluis IV-III

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS III-II

| Input-variabele           | Waarde                   | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 9,2711 ha                | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,15 m                   | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 13.906,65 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,07 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 30 m <sup>3</sup> /s     | Tabel 39                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 30,07 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_II}}$   | 30 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 30 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 10 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 40 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,00 m <sup>3</sup> /s   | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 42 Input Pand Sluis III-II

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                       | Kwalitatieve score |
|------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | <0 uur                                    | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 0,13 uur                                  | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,08                                      | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 4stuks (Schutkolk+spuiwerk+ 2x rinketten) | -/+                |
| $R_{\text{tekort}}$    | <0                                        | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                           | -                  |

Tabel 43 Gevoeligheid Pand Sluis III-II

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil op het Wilhelminakanaal te hoog staat en/of het waterpeil op het Grote Pand hoog staat, zal het niet mogelijk zijn om deze kanalen te bevaren. Een stremming van scheepvaart zal 50.000 euro per dag kosten (BWZ Ingenieurs, 2012).                                                                                   | +                  |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - → +              |

Tabel 44 Impact Pand Sluis III-II

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS II-I

| Input-variabele           | Waarde                    | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 64,9175 ha                | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,25 m                    | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 162.293,75 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                           |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,51 m <sup>3</sup> /s    | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 21,14 m <sup>3</sup> /s   | (BWZ Ingenieurs, 2012), (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                        |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 30 m <sup>3</sup> /s      | Tabel 42                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 51,64 m <sup>3</sup> /s   | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                           |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_I}}$    | 30 m <sup>3</sup> /s      | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 30 m <sup>3</sup> /s      | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 10 m <sup>3</sup> /s      | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 40 m <sup>3</sup> /s      | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 11,64 m <sup>3</sup> /s   | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 45 Input Pand Sluis II-I

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                                           | Kwalitatieve score |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 3,88 uur                                                      | ++                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 0,87 uur                                                      | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 1,13                                                          | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 5 stuks (Schutkolk+spuiwerk+aflaatwerk Oosterhout+ rinketten) | -/+                |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,29                                                          | -/+                |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                               | -/+                |

Tabel 46 Gevoeligheid Pand Sluis II-I

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil op het Wilhelminakanaal te hoog staat en/of het waterpeil op het Grote Pand hoog staat, zal het niet mogelijk zijn om deze kanalen te bevaren. Een stremming van scheepvaart zal 50.000 euro per dag kosten (BWZ Ingenieurs, 2012).                                                                                   | +                  |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - → +              |

Tabel 47 Impact Pand Sluis II-I

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 6-5

| Input-variabele           | Waarde                  | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 13,9127 ha              | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,3 m                   | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 41.738 m <sup>3</sup>   | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,11 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 18 m <sup>3</sup> /s    | Tabel 45                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 18,11 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_5}}$    | 18 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 18 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 10 m <sup>3</sup> /s    | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 28 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,11 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 48 Input Pand Sluis 6-5

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score               | Kwalitatieve score |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 106,67 uur                        | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 0,64 uur                          | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,41                              | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Rinketten+spuiwerk+kolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,01                              | -                  |
| <b>Totaalscore</b>     |                                   | -/+                |

Tabel 49 Gevoeligheid Pand Sluis 6-5

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Kanaalpanden 6-5 en 5-4, bovenstrooms van Veghel, worden minder bevaren dan de andere kanalen. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Wanneer gestremd, zal dit een schade van 5.000 euro per dag opleveren (BWZ Ingenieurs, 2012).          | -/+                |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - → +              |

Tabel 50 Impact Pand Sluis 6-5

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 5-4

| Input-variabele           | Waarde                  | Bron                                                                                                                                 |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                     | 13,9406 ha              | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$          | 0,3 m                   | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$      | 41.821,8 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>            |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$     | 0,11 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$      | 0 m <sup>3</sup> /s     | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$ | 18 m <sup>3</sup> /s    | Tabel 48                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$ | 18,11 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>             |                         |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_4}}$    | 18 m <sup>3</sup> /s    | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$  | 18 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$        | 10 m <sup>3</sup> /s    | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$          | 28 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$     | 0,11 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 51 Input Pand Sluis 5-4

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score               | Kwalitatieve score |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 106,67 uur                        | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 0,64 uur                          | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,41                              | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Rinketten+spuiwerk+kolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,01                              | -                  |
| <b>Totaalscore</b>     |                                   | -/+                |

Tabel 52 Gevoeligheid Pand Sluis 5-4

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Kanaalpanden 6-5 en 5-4, bovenstrooms van Veghel, worden minder bevaren dan de andere kanalen. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). Wanneer gestremd, zal dit een schade van 5.000 euro per dag opleveren (BWZ Ingenieurs, 2012).          | -/+                |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | - → +              |

Tabel 53 Impact Pand Sluis 5-4

## KWETSBAARHEID PAND SLUIS 4-SCHIJNDEL

| Input-variabele                | Waarde                   | Bron                                                                                                                                 |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                          | 40,16 ha                 | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$               | 0,18 m                   | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$           | 72.282,06 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>                 |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$          | 0,31 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$           | 1,16 m <sup>3</sup> /s   | 1.485.000 m <sup>2</sup> Stedelijke afvoer Veghel (Witteveen+Bos, 2017)                                                              |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$      | 18 m <sup>3</sup> /s     | Tabel 51                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$      | 19,47 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>                  |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_Schijndel}}$ | 22 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$       | 22 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$             | 10 m <sup>3</sup> /s     | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$               | 32 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$          | -2,53 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 54 Input Pand Sluis 4-Schijndel

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score               | Kwalitatieve score |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | <0 uur                            | --                 |
| $T_{\text{vullien}}$   | 1,03 uur                          | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 0,63                              | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Rinketten+spuiwerk+kolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | -0,11                             | --                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                   | -/+                |

Tabel 55 Gevoeligheid Pand Sluis 4-Schijndel

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kwalitatieve score |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Door de ligging van de haven van Veghel in dit kanaalpand is de impact van de onbevaarbaarheid van het pand groot. Scheepvaart maakt via pand Schijndel-Hintham-Poeldonk en het Maximakanaal gebruik van het kanaal. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). De schade van scheepvaartstremming wordt geschat op 100.000 euro per dag (BWZ Ingenieurs, 2012). | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                                                                                 | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -/+ → ++           |

Tabel 56 Impact Pand Sluis 4-Schijndel



## KWETSBAARHEID PAND SLUIS SCHIJNDEL-HINTHAM-POELDONK

| Input-variabele               | Waarde                   | Bron                                                                                                                                 |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_s$                         | 71,77 ha                 | (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                                                |
| $(h_{\max}-h_0)$              | 0,2 m                    | Bijlage F                                                                                                                            |
| $V_{\text{berging}}$          | 143.546,2 m <sup>3</sup> | Formule 3                                                                                                                            |
| <b>Aanvoer</b>                |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{neerslag}}$         | 0,56 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                                                                                                            |
| $Q_{\text{aanvoer}}$          | 3 m <sup>3</sup> /s      | Schijndelse Loop (Witteveen+Bos, 2017)                                                                                               |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$     | 22 m <sup>3</sup> /s     | Tabel 54                                                                                                                             |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$     | 25,56 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                                                                                                            |
| <b>Afvoer</b>                 |                          |                                                                                                                                      |
| $Q_{\text{afvoer\_Poeldonk}}$ | 21 m <sup>3</sup> /s     | (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019) |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$      | 21 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                                                                                                            |
| $Q_{\text{extra}}$            | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, 2018)                                                                                               |
| $Q_{\text{max}}$              | 21 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                                                                                                            |
| $Q_{\text{verschil}}$         | 4,56 m <sup>3</sup> /s   | Formule 7                                                                                                                            |

Tabel 57 Input Pand Sluis Schijndel-Hintham-Poeldonk

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score               | Kwalitatieve score |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 8,94 uur                          | +                  |
| $T_{\text{vullien}}$   | 1,56 uur                          | ++                 |
| $T_{\text{herstel}}$   | 1,89 uur                          | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Rinketten+spuiwerk+kolk) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0,22                              | -                  |
| <b>Totaalscore</b>     |                                   | -/+                |

Tabel 58 Pand Sluis Schijndel-Hintham-Poeldonk

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Kwalitatieve score |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Door de ligging van de haven van Veghel bovenstrooms van dit kanaalpand is de impact van de onbevaarbaarheid van het pand groot. Scheepvaart maakt via dit pand en het Maximakanaal gebruik van de haven. (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019). De schade van scheepvaartstremming wordt geschat op 100.000 euro per dag (BWZ Ingenieurs, 2012). | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Op dit kanaalpand is niet duidelijk wat de impact is op de directe omgeving. Deze wordt geïnventariseerd door Witteveen+Bos. Hier kunnen nog geen uitspraken over gedaan worden. (Witteveen+Bos, 2019) (Verstraelen, Eindinterview met Joëlle Verstraelen (ZN) Kwetsbaarheidsanalyse HWS Noord-Brabantse en Midden-Limburgse kanalen, 2019)                                                                                                      | -- → ++            |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | -/+ → ++           |

Tabel 59 Impact Pand Sluis Schijndel-Hintham-Poeldonk

## BIJLAGE E – BEREKENEN KWETSBAARHEID AMSTERDAM-RIJNKANAAL / NOORDZEEKANAAL

### KWETSBAARHEID AMSTERDAM-RIJNKANAAL / NOORDZEEKANAAL -0,50 M NAP TOT -0,20 M NAP

| Input-variabele               | Waarde                    | Bron                                        |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| $A_s$                         | 3906 ha                   | (Hydrologic, 2017)                          |
| $(h_{\max}-h_0)$              | 0,3 m                     | Bijlage F                                   |
| $V_{\text{berging}}$          | 11.718.000 m <sup>3</sup> | Formule 3                                   |
| <b>Aanvoer</b>                |                           |                                             |
| $Q_{\text{neerslag}}$         | 30,52 m <sup>3</sup> /s   | Formule 2                                   |
| $Q_{\text{aanvoer}}$          | 360 m <sup>3</sup> /s     | Aanvoer poldergemalen (Hydrologic, 2017)    |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$     | 56 m <sup>3</sup> /s      | Aanvoer grachten Utrecht (Hydrologic, 2016) |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$     | 446,52 m <sup>3</sup> /s  | Formule 4                                   |
| <b>Afvoer</b>                 |                           |                                             |
| $Q_{\text{afvoer\_Ijmuiden}}$ | 100 m <sup>3</sup> /s     | (Hydrologic, 2016)                          |
| $Q_{\text{afvoer\_Zeeburg}}$  | 57 m <sup>3</sup> /s      | (Hydrologic, 2016)                          |
| $N_{\text{uon}}$              | 8 m <sup>3</sup> /s       | (Hydrologic, 2016)                          |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$      | 165 m <sup>3</sup> /s     | Formule 5                                   |
| $Q_{\text{extra}}$            | 0 m <sup>3</sup> /s       |                                             |
| $Q_{\text{max}}$              | 165 m <sup>3</sup> /s     | Formule 6                                   |
| $Q_{\text{verschil}}$         | 281,52 m <sup>3</sup> /s  | Formule 7                                   |

Tabel 60 Input Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,50 m NAP tot -0,20 m NAP

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score                              | Kwalitatieve score |
|------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 11,56 uur                                        | +                  |
| $T_{\text{vullien}}$   | 7,28 uur                                         | -/+                |
| $T_{\text{herstel}}$   | 2,99 uur                                         | --                 |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 7 stuks (Ijmuiden nieuw+ Zeeburg(4 pompen)+Nuon) | -                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 1,71                                             | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                                  | -/+                |

Tabel 61 Gevoeligheid Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,50 m NAP tot -0,20 m NAP

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kwalitatieve score |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil te hoog staat, zal er geen water meer ingelaten worden via de Pr. Irenesluizen en Beatrixsluizen of via Ijmuiden (Hydrologic, 2016). De havens op het kanaal zullen hierdoor niet meer bereikbaar zijn voor de buitenvaart. Wanneer het waterpeil binnen het pand te hoog staat zal het ook niet meer mogelijk zijn om te varen binnen het kanaal. | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Wanneer het maximale waterpeil van 0,00 wordt bereikt zal een maalstop uitgezet worden. Het gebied wat afwatert op het is 260.000 ha groot (Hydrologic, 2017). Wanneer gemalen uitgezet worden en hiermee de aanvoer op het kanaal wordt beperkt zal dit voor extra lokale schade zorgen binnen de polders en boezems (Hydrologic, 2017).                                | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ++                 |

Tabel 62 Impact Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,50 m NAP tot -0,20 m NAP

## KWETSBAARHEID AMSTERDAM-RIJNKANAAL / NOORDZEEKANAAL -0,20 M NAP TOT 0,00 M NAP

| Input-variabele               | Waarde                   | Bron                                               |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|
| $A_s$                         | 2881 ha                  | (Hydrologic, 2017)                                 |
| $(h_{\max} - h_0)$            | 0,2 m                    | Bijlage F                                          |
| $V_{\text{berging}}$          | 5.762.000 m <sup>3</sup> | Formule 3                                          |
| <b>Aanvoer</b>                |                          |                                                    |
| $Q_{\text{neerslag}}$         | 22,51 m <sup>3</sup> /s  | Formule 2                                          |
| $Q_{\text{aanvoer}}$          | 280 m <sup>3</sup> /s    | Aanvoer poldergemalen Minus AVG (Hydrologic, 2017) |
| $Q_{\text{bovenstrooms}}$     | 56 m <sup>3</sup> /s     | Aanvoer grachten Utrecht (Hydrologic, 2016)        |
| $Q_{\text{tot\_aanvoer}}$     | 358,51 m <sup>3</sup> /s | Formule 4                                          |
| <b>Afvoer</b>                 |                          |                                                    |
| $Q_{\text{afvoer\_Ijmuiden}}$ | 180 m <sup>3</sup> /s    | Pompen nieuw + omloopriool (Hydrologic, 2016)      |
| $Q_{\text{afvoer\_Zeeburg}}$  | 0 m <sup>3</sup> /s      | (Hydrologic, 2016)                                 |
| <b>Nuon</b>                   | 8 m <sup>3</sup> /s      | (Hydrologic, 2016)                                 |
| $Q_{\text{tot\_afvoer}}$      | 188 m <sup>3</sup> /s    | Formule 5                                          |
| $Q_{\text{extra}}$            | 0 m <sup>3</sup> /s      |                                                    |
| $Q_{\text{max}}$              | 188 m <sup>3</sup> /s    | Formule 6                                          |
| $Q_{\text{verschil}}$         | 170,51 m <sup>3</sup> /s | Formule 7                                          |

Tabel 63 Input Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,20 m NAP tot 0,00 m NAP

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score             | Kwalitatieve score |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 9,39 uur                        | +                  |
| $T_{\text{vullien}}$   | 4,46 uur                        | +                  |
| $T_{\text{herstel}}$   | 4,28 uur                        | -                  |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (Ijmuiden nieuw + Nuon) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 0.91                            | +                  |
| <b>Totaalscore</b>     |                                 | +                  |

Tabel 64 Gevoeligheid Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,20 m NAP tot 0,00 m NAP

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kwalitatieve score |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil te hoog staat, zal er geen water meer ingelaten worden via de Pr. Irenesluizen en Beatrixsluizen of via Ijmuiden (Hydrologic, 2016). De havens op het kanaal zullen hierdoor niet meer bereikbaar zijn voor de buitenvaart. Wanneer het waterpeil binnen het pand te hoog staat zal het ook niet meer mogelijk zijn om te varen binnen het kanaal. | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Wanneer het maximale waterpeil van 0,00 wordt bereikt zal een maalstop uitgezet worden. Het gebied wat afwatert op het is 260.000 ha groot (Hydrologic, 2017). Wanneer gemalen uitgezet worden en hiermee de aanvoer op het kanaal wordt beperkt zal dit voor extra lokale schade zorgen binnen de polders en boezems (Hydrologic, 2017).                                | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ++                 |

Tabel 65 Impact Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,20 m NAP tot 0,00 m NAP

## KWETSBAARHEID AMSTERDAM-RIJNKANAAL / NOORDZEEKANAAL -0,50 M NAP TOT 0,00 M NAP

De gevoeligheidsindicatoren voor -0,50 m NAP tot 0,00 m NAP zijn bepaald door een samenstelling van beide scenario's: de tijden van beide scenario's zijn opgeteld, terwijl voor de  $R_{\text{tekort}}$  en  $N_{\text{afvoer}}$  de maatgevende situatie is gepakt.

| Gevoeligheidsindicator | Kwantitatieve score             | Kwalitatieve score |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| $T_{\text{bergen}}$    | 20,95 uur                       | -/+                |
| $T_{\text{vullien}}$   | 11,75 uur                       | -                  |
| $T_{\text{herstel}}$   | 7,27 uur                        | -/+                |
| $N_{\text{afvoer}}$    | 3 stuks (IJmuiden nieuw + Nuon) | +                  |
| $R_{\text{tekort}}$    | 1,71                            | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>     |                                 | +                  |

Tabel 66 Gevoeligheid Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,50 m NAP tot 0,00 m NAP

| Impactindicator            | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kwalitatieve score |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Impact op scheepvaart      | Wanneer het waterpeil te hoog staat, zal er geen water meer ingelaten worden via de Pr. Irenesluizen en Beatrixsluizen of via IJmuiden (Hydrologic, 2016). De havens op het kanaal zullen hierdoor niet meer bereikbaar zijn voor de buitenvaart. Wanneer het waterpeil binnen het pand te hoog staat zal het ook niet meer mogelijk zijn om te varen binnen het kanaal. | ++                 |
| Impact op directe omgeving | Wanneer het maximale waterpeil van 0,00 wordt bereikt zal een maalstop uitgezet worden. Het gebied wat afwatert op het is 260.000 ha groot (Hydrologic, 2017). Wanneer gemalen uitgezet worden en hiermee de aanvoer op het kanaal wordt beperkt zal dit voor extra lokale schade zorgen binnen de polders en boezems (Hydrologic, 2017).                                | ++                 |
| <b>Totaalscore</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ++                 |

Tabel 67 Impact Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal -0,50 m NAP tot 0,00 m NAP

## BIJLAGE F – PEILMARGES HOOFDWATERSYSTEEM

| Kanaalpand          | Streefpeil | Bovengrens streefpeil | Ondergrens streefpeil |
|---------------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| Enschede-Hengelo    | 25,0 m NAP | 25,10 m NAP           | 24,90 m NAP           |
| Hengelo-Delden      | 16,0 m NAP | 16,35 m NAP           | 15,90 m NAP           |
| Delden-Eefde-Almelo | 10,0 m NAP | 10,10 m NAP           | 9,90 m NAP            |

Tabel 68 Peilmarges Twentekanalen

| Kanaalpand                      | Streefpeil  | Bovengrens streefpeil | Ondergrens streefpeil |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Sluis 16-15                     | 33,55 m NAP | 33,76 m NAP           | 33,47 m NAP           |
| Sluis 15-13-Panheel             | 28,65 m NAP | 28,74 m NAP           | 28,50 m NAP           |
| Sluis 13-12                     | 27,06 m NAP | 27,31 m NAP           | 26,86 m NAP           |
| Sluis 12-11                     | 25,08 m NAP | 25,28 m NAP           | 24,88 m NAP           |
| Sluis 11-10                     | 22,58 m NAP | 22,78 m NAP           | 22,38 m NAP           |
| Sluis 10-sluis Helmond          | 20,67 m NAP | 20,75 m NAP           | 20,47 m NAP           |
| Grote Pand (Sluis IV-Helmond-6) | 15,00 m NAP | 15,15 m NAP           | 14,90 m NAP           |
| Sluis 6-5                       | 12,75 m NAP | 13,05 m NAP           | 12,55 m NAP           |
| Sluis 5-4                       | 10,57 m NAP | 10,87 m NAP           | 10,37 m NAP           |
| Sluis 4-Schijndel               | 8,52 m NAP  | 8,70 m NAP            | 8,32 m NAP            |
| Sluis Schijndel-Hintham         | 4,70 m NAP  | 4,90 m NAP            | 4,50 m NAP            |
| Sluis IV-III                    | 12,55 m NAP | 12,85 m NAP           | 12,35 m NAP           |
| Sluis III-II                    | 7,70 m NAP  | 7,90 m NAP            | 7,50 m NAP            |
| Sluis II-I                      | 5,15 m NAP  | 5,40 m NAP            | 4,95 m NAP            |

Tabel 69 Peilmarges Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen

| Kanaalpand           | Streefpeil  | Voorgemalen waterpeil | Waterpeil ARK-front / IJ-Front | Waterpeil maalstop |
|----------------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|
| Amsterdam-Rijnkanaal | -0,40 m NAP | -0,50 m NAP           | -0,20 m NAP                    | 0,00 m NAP         |
| Noordzeekanaal       | -0,40 m NAP | -0,50 m NAP           | -0,20 m NAP                    | 0,00 m NAP         |

Tabel 70 Peilmarges Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal