

# Bijlagen

## Inhoud

Bijlagen .....	1
A Literatuuronderzoek .....	5
A0. Structuur .....	7
A1. De Maas .....	8
1.1 Hydrografie .....	8
1.2 Ontwikkelingen .....	8
1.3 Functies .....	9
1.4 Hydrologie .....	10
1.5 Helling en breedte .....	11
A2. De Maasstuwen .....	12
2.1 Stuw Linne .....	12
2.1.1 Procesbeschrijving handhaving waterstanden .....	14
2.1.2 Procesbeschrijving bieding volledige doorstroomopening .....	15
2.2 Stuw Roermond, Belfeld en Sambeek .....	15
2.3 Stuw Lith .....	17
2.4 Stuw Grave .....	17
2.5 Stuw Borgharen .....	18
A3. Stuwen .....	20
3.1 Hydraulische aspecten .....	20
3.2 Stuwtypen .....	21
3.2.1 Vizierstuw .....	22
3.2.2 Klepstuw .....	22
3.2.3 Dakstuw .....	23
3.2.4 Sectorstuw .....	23
3.2.5 Schotbalkstuw .....	24
3.2.6 Schuivenstuw .....	24
3.2.7 Segmentstuw .....	24
3.2.8 Opblaasbare stuw .....	25
A4. Opblaasbare stuw .....	26
4.1 Ontwikkeling van de opblaasbare constructies .....	26
4.1.1 Opblaasbare keringen in Azië en de standaard .....	26
4.1.2 Opblaasbare keringen in Amerika .....	27
4.1.3 Opblaasbare keringen in Europa .....	27
4.1.4 Omvang toepassing en vulmedium .....	28
4.2 Rubberen keringen .....	28
4.3 Staal-rubberen keringen (Obermeyer) .....	29
4.4 Materialen en productie .....	29
4.4.1 Rubberen membraan .....	30
4.4.2 Luchtblaas voor staal-rubberen kering .....	30
4.4.3 Productieproces .....	30
4.4.4 Anti-vandalisme maatregelen .....	31
4.4.5 Transportatie .....	32
4.5 Functies en toepassingen van rubberen keringen .....	32
4.6 Afvoercoëfficiënten .....	33
4.6.1 Rubberen keringen .....	33
4.6.2 Staal-rubberen keringen .....	35
4.7 Sedimentatie .....	36
4.8 Vandalisme en terrorisme .....	37

4.9 Milieueffecten .....	38
4.10 Trillingen .....	39
A5. Referentieprojecten .....	40
5.1 Ramspol stormvloedkering .....	40
5.2 Villers Devant Mouzon .....	41
5.3 Auxonne.....	43
B Eisenspecificatie.....	46
C EMVI-criteria.....	53
D Omgevingsanalyse.....	56
D.1. Sectie Linne.....	56
D.1.1. Waterkrachtcentrale.....	56
D.1.2. Visladder.....	56
D.1.3. Overlaat .....	56
D.1.4. Havens .....	56
D.1.5. Sluizen.....	56
D.1.6 Clauscentrale.....	56
D.2 Stuwcomplex Linne.....	57
D.2.1. Bediening en besturing .....	57
D.2.3. Bewegingswerken en loop/fietsbrug.....	57
D.2.2. Elektrische installaties.....	58
D.2.4. Hijs- en transportinstallatie Poirée.....	58
D.2.5. Onderhoudselementen.....	59
D.2.6. Kwel- en overgangsschermen.....	60
D.2.7. Bodembescherming .....	60
D.2.8. Stuwvloer .....	61
D.2.9. Heftorens .....	61
D.2.10. Landhoofden en vleugelwanden .....	61
E Hydraulisch ontwerp .....	62
E.1 Nieuwe stuwregime.....	62
E.2 Afleiding relatie watersprong.....	63
E3. Bepaling benodigde energiehoopte voor begin watersprong.....	65
F Berekeningen keermiddel .....	66
F.1. Berekening krachten in de balg .....	66
G Uitvoering.....	67
G.1. WBS uitvoeringsvarianten.....	67
G.2. Belastingssituaties.....	73
G.3. Kostentemplates uitvoeringsvarianten .....	79

Figuur 1 - Stroomgebied Maas (Rijkswaterstaat,1992) .....	8
Figuur 2 - De Maas bij Grevenbicht voor de normalisatiewerken (l) en na de normalisatiewerken (r) (Helmer et al) .....	9
Figuur 3 - Gemiddelde dagafvoeren gemeten tussen 1911 en 1991 (Rijkswaterstaat,1992) .....	10
Figuur 4 - Stuwen in de Maas (Rijkswaterstaat, 1992).....	11
Figuur 5 - De maasgangen en bijbehorende waterniveaus (Rijkswaterstaat,2018).....	12
Figuur 6 - Schematisatie van de maas met stuw- en kanaalpanden(Verduijn, 2015) .....	12
Figuur 7 - Stuw Linne (bron: Iv-Infra).....	13
Figuur 8 - Stoney schuif (Rijkswaterstaat,2018) .....	13
Figuur 9 - Schematische weergave Poiréestuw (Rijkswaterstaat,2018).....	14
Figuur 10 - Afvoerregeling Stoney .....	15
Figuur 11 - Proces strijken stuw .....	15
Figuur 12 - Principe neerklappen jukken (Iv-Infra,2010) .....	16
Figuur 13 - Stuw Roermond (IV-Infra,2010).....	16
Figuur 14 - Stuw Belfeld (IV-Infra,2010) .....	16
Figuur 15 - Stuw Sambeek (IV-Infra,2010) .....	17
Figuur 16 - Doorsneden stuw Lith (IV-Infra,2010).....	17
Figuur 17 - Stuw Grave (IV-Infra,2010) .....	18
Figuur 18 - Boven- en zijaanzicht stuw Grave (Antea, 2014).....	18
Figuur 19 - Stuw Borgharen (IV Infra, 2010).....	19
Figuur 20 - Bovenaanzicht en doorsneden stuw Borgharen (Antea, 2014).....	19
Figuur 21 - Typische doorsnede stuw (Bezuyen et al, 2007) .....	20
Figuur 22 - Verschillende vormen van waterlijnen door backwater effect (TU Delft CT2100) .....	21
Figuur 23 - Morfologische kaart oplossingen afsluitmiddel (Bezuyen et al, 2007) .....	22
Figuur 24 - Vizierstuw bij Amerongen (Wikipedia) .....	22
Figuur 25 - Klepstuw met kettingen (l) en met duwpersen (r) (Bezuyen et al,2007) .....	23
Figuur 26 - Dakstuw in Tees, Verenigd Koninkrijk (PIANC,2006) .....	23
Figuur 27 - Sectorstuw in Tsjechië (PIANC,2006) .....	24
Figuur 28 - Schuivenstuw (Bezuyen, 2007) .....	24
Figuur 29 - Segmentstuw (Bezuyen, 2007) .....	25
Figuur 30 - Opblaasbare keringen wereldwijd (PIANC, 2018).....	26
Figuur 31 - Reikwijdte toepassing opblaasbare constructies (excl. Japan) (Bron: Voies Navigables de France,2012) .....	28
Figuur 32 - Typische doorsneden water gevulde rubberen kering(PIANC,2018) .....	29
Figuur 33 - Typische doorsneden Luchtgevulde kering (l), watergevulde kering(m) en Obermeyer principe(r) .....	29
Figuur 34 - Productieproces membraan voor niet-voor uitgeharde rubber (Sumitomo Electric,2018) .....	31
Figuur 35 - Doorsnede bridgestone rubberen kering met keramische chip (PIANC,2018) .....	31
Figuur 36 - Monster van roestvrijstalen gaas (courtesy of Dryhof Ltd.) .....	32
Figuur 37 - functies voor variabele (l) en constante (r) bovenstroomse waterniveau (PIANC,2018).....	33
Figuur 38 - vergelijking afvoercoëfficiënten voor lucht gevulde rubberen keringen uit onderzoeken (JICE(2000b),JICE(1983a),Tam(1998a) en Anwar(1967)) met een variabele bovenstroomse waterniveau [PIANC,2018] .....	34
Figuur 39 - Vergelijking afvoercoëfficiënten voor water gevulde rubberen keringen uit onderzoeken van Anwar (1967) met een variabele bovenstroomse waterniveau (PIANC, 2018).....	34
Figuur 40 - Vergelijking afvoercoëfficiënten voor water gevulde rubberen keringen met een constant bovenstrooms waterniveau (PIANC, 2018) .....	35
Figuur 41 - Afvoercoëfficiënt klepstuw (PIANC,2018) .....	35

Figuur 42 - Schematische doorsneden staal-rubberen deuren bij McHenry en Algonquin (Straub et al., 2009) .....	36
Figuur 43 - Afvoercoëfficiënt voor volkomen overlaat over staal-rubberen keringen gebaseerd op de metingen bij McHenry en Algonquin (Straub et al., 2009) .....	36
Figuur 44 Resultaten experiment sedimentatie op bestaande staal-rubberen kering (JICE,2007c).....	37
Figuur 45 - Verschillende type trillingen op rubberen keringen (PIANC,2018) .....	39
Figuur 46 - Testomgeving, IDSG = Staal-rubberen kering (Pitsch,2007) .....	41
Figuur 47 - Ankerlijn (Pitch, 2007) .....	42
Figuur 48 - Auxonne stuw (PIANC, 208) .....	43
Figuur 49 - Objectenboom stuw Linne.....	46
Figuur 50 - Invloedsgebied stuw Linne.....	48
Figuur 51 - Locatie bedienhuis Sluizencomplex Heel (IV Infra) .....	57
Figuur 52 - Aanzicht fietsbrug (IV-Infra) .....	58
Figuur 53 - Schuivenloods Poiree (IV Infra).....	59
Figuur 54- Onderhoudselementen Stoney (IV-Infra).....	59
Figuur 55 - Onderhoudselementen Poirée (IV-Infra) .....	60
Figuur 56 - Bestaande bodembescherming (auteur) .....	61

# A Literatuuronderzoek



## **A0. Structuur**

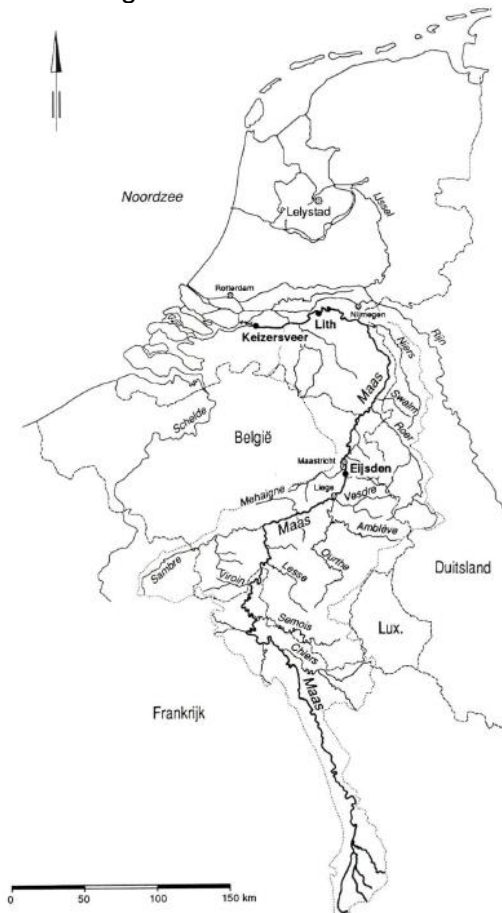
Deze literatuurstudie is onderdeel van het afstudeeronderzoek naar de haalbaarheid van een opblaasbare stuw als vervanging van de huidige stuwen in de Maas. Meerdere aspecten die betrekking hebben op dit onderwerp zijn behandeld en gecombineerd en vormen de basis van het afstudeeronderzoek. De eerste twee hoofdstukken: “De Maas” en “De Maasstuwen” zijn gerelateerd aan het te onderzoeken gebied. Hierbij is veel gebruik gemaakt van bronnen die zijn vrijgegeven door Rijkswaterstaat. Het derde hoofdstuk: “Stuwen” gaat in op de werking, functies en typen van stuwen in het algemeen. Hierbij is vooral informatie uit collegedictaten van de TU Delft gebruikt en gecombineerd. Dit hoofdstuk dient als achtergrondinformatie voor de lezer relatief niet goed bekend is met dit natte kunstwerk. Het vierde hoofdstuk: “Opblaasbare stuw” richt zich specifiek op de te onderzoeken aspecten, zoals beschreven in het projectplan, die gepaard gaan met deze technologie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen rubberen en staal-rubberen deuren met bijbehorende overeenkomsten en verschillen. Relevante literatuur komt grotendeels voort uit de rapporten van PIANC.

## A1. De Maas

In dit hoofdstuk worden relevante aspecten van de Maas met betrekking tot het afstudeeronderzoek behandeld. Deze aspecten gaan over het watersysteem, de ontwikkelingen, de hydrologie, helling en breedte en sedimenttransport van de Maas. Aspecten als morfologie, waterkwaliteit, etc. zijn voor het onderzoek minder relevant en worden niet behandeld.

### 1.1 Hydrografie

De Maas is Nederlands tweede rivier, na de Rijn. De Maas ontspringt in het noorden van Frankrijk op +409 m NAP en komt, via België, Nederland binnen, bovenstrooms van Eijsden. Hier vormt het tevens de grensrivier tussen Nederland en België (zie figuur 1). De totale lengte van de Maas is 850 km, hiervan bedraagt het Nederlandse gedeelte in totaal 250 km (ter vergelijking: de Rijntakken beslaan in totaal zo'n 300 km in Nederland). Het stroomgebied beslaat in totaal 33000 km<sup>2</sup> [Rijkswaterstaat, 1992].



**Figuur 1 - Stroomgebied Maas (Rijkswaterstaat,1992)**

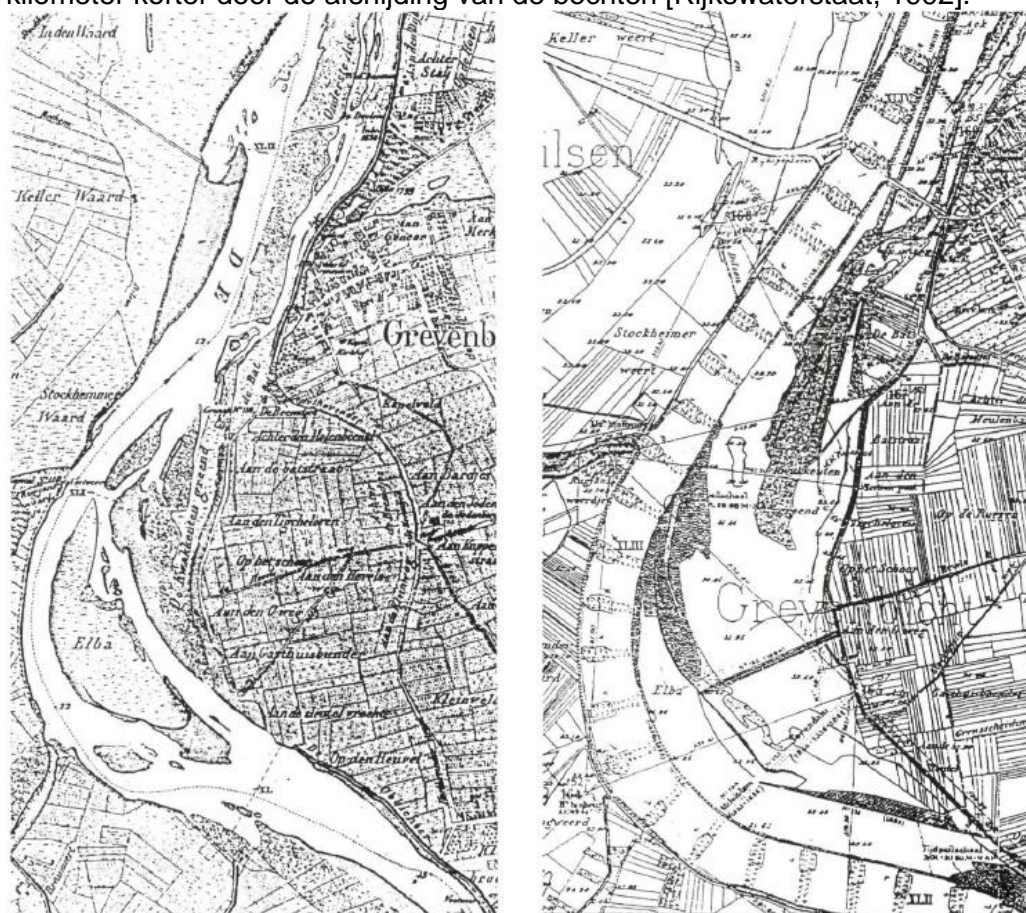
De Maas kent een aantal zijrivieren en kanalen. Aan de rechteroever vindt men onder andere de Geul, Roer, Swalm en Niers. Aan de linkeroever vindt men Jeker, Dieze en Dongen. Belangrijke kanalen zijn het Julianakanaal, het Lateraal-kanaal en de Zuid-Willemsvaart.

### 1.2 Ontwikkelingen

De Maas kent in het verleden veel problemen betreft afwatering en scheepvaart. Dit heeft te maken met de sterk fluctuerende afvoeren. De afvoeren kunnen variëren van ongeveer



2000 m<sup>3</sup>/s in de winter tot 0 m<sup>3</sup>/s in de zomer. Interventies, zoals het normaliseren van de Maas en het gebruiken van overlatingen, zijn gebruikt als oplossingen tegen het afwateringsprobleem. Normalisatiewerken aan het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw hebben het aanzien van de Maas aanzienlijk veranderd. In figuur 2 ziet men de Maas bij Grevenbicht in 1849 en 1905, respectievelijk voor en na de normalisatiewerken. Na de normalisatiewerken begon men de Maas en de Waal te scheiden. Belangrijke ingrepen hierbij zijn de aanleg van het Heusden kanaal en het graven van de Bergsche Maas. Tussen 1918 en 1929 is de Maaskanalise van start gegaan tussen Grave en Maasbracht. In deze periode zijn de stuwen en sluisen ter plaatse van Grave, Sambeek, Belfeld, Roermond en Linne gebouwd. Verder is ook het Maas-Waalkanaal aangelegd. In 1935 is het Julianakanaal aangelegd tussen Borgharen en Maasbracht. Hiermee is het verval van ongeveer 23 meter over de 47 kilometer lange Grensmaas overbrugd. Ook is de stuw te Borgharen aangelegd. In 1936 is de stuw te Lith aangelegd, wat onderdeel uitmaakte van de verbeteringswerken benedenstrooms van Grave. Na deze periode zijn meerdere verbeteringswerken uitgevoerd. De lengte van de Maas is ongeveer 20 kilometer korter door de afsnijding van de bochten [Rijkswaterstaat, 1992].



Figuur 2 - De Maas bij Grevenbicht voor de normalisatiewerken (l) en na de normalisatiewerken (r) (Helmer et al)

### 1.3 Functies

De belangrijkste functie van de Maas is dat het dient als transportweg voor water. Verder heeft de Maas ook andere functies, welke te onderscheiden zijn op mens gerichte functies en ecologische functies.

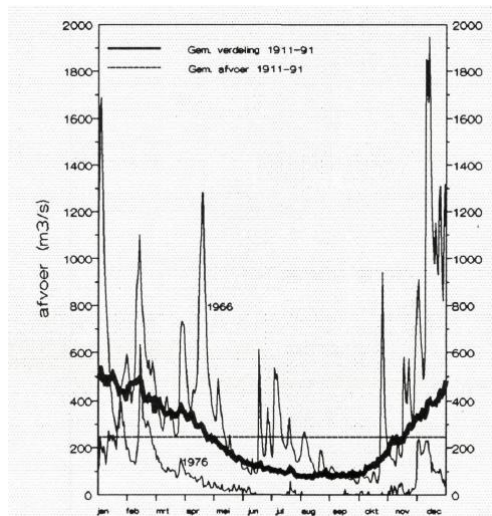
- Natuur en landschap
- **Scheepvaart**
- Energieopwekking
- Drink- en industriewatervoorziening

- Visserij
- Winning van delfstoffen
- Landbouwwatervoorziening
- Recreatie

In het kader van het onderzoek is de scheepvaartfunctie van de Maas het meest relevant. De urgentie van vervoer van goederen wordt met de tijd steeds belangrijker. In Nederland is de Maas bevaarbaar voor schepen tot 2000 ton met een vaardiepte van 3 meter. De scheepvaartverbinding met België is gevormd door het sluizencomplex bij Ternaaien. De ontwikkelingen op gebied van Scheepvaart in de Maas gebeuren in een rap tempo. In 1930 passeerde bijvoorbeeld 15 duizend schepen de sluis bij Sambeek, terwijl dit in 1982 al ruim 55 duizend schepen zijn [Rijkswaterstaat, 1992].

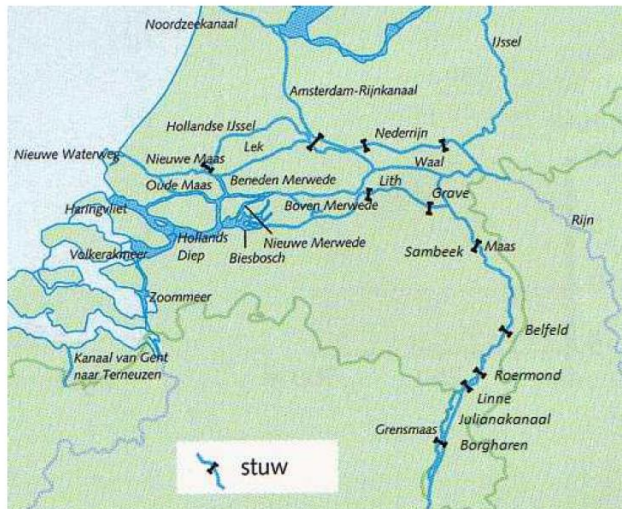
### 1.4 Hydrologie

De Maas is een regenrivier. Afvoeren variëren sterk en zijn onregelmatig, zie figuur 3. Dit komt omdat de rivier snel reageert op neerslagen in het stroomgebied. In november tot mei is er over het algemeen de meeste afvoer. De langjarig gemiddelde afvoer (tussen 1911 en 1991) bedraagt 245 m<sup>3</sup>/s. Per jaar vindt men een relatief grote variatie. Een minimale gemiddelde jaarlijkse afvoer van 74 m<sup>3</sup>/s is gemeten in 1976 en een maximale gemiddelde jaarlijkse afvoer van 406 m<sup>3</sup>/s is gemeten in 1966. Verder komen afvoeren van meer dan 500 m<sup>3</sup>/s 40 tot 50 dagen per jaar voor, meer dan 1000 m<sup>3</sup>/s ongeveer 8 dagen per jaar en afvoeren van meer dan 1500 m<sup>3</sup>/s komen gemiddeld 1 dag per jaar voor.



**Figuur 3 - Gemiddelde dagafvoeren gemeten tussen 1911 en 1991 (Rijkswaterstaat,1992)**

Bij afvoeren van minder dan 1200 m<sup>3</sup>/s (gemeten bij Borgharen) is de Maas gestuwd. Hierbij wordt een minimaal waterpeil, met een afwijking van enkele centimeters, gehandhaafd bij elk van de zeven stuwen, zie figuur 4. Verdere uitleg over de stuwen volgt in het volgende hoofdstuk. Gemiddeld zijn de stuwen ongeveer 3,5 dagen per jaar gestreken (periode gemeten tussen 1911 en 1991). Bij afvoeren boven de 1200 m<sup>3</sup>/s worden de stuwen gestreken, wat resulteert een vrij afstromende rivier. Bij afvoeren boven de 1500 m<sup>3</sup>/s treedt de rivier op bepaalde plaatsen buiten haar oevers en bij afvoeren boven de 2000 m<sup>3</sup>/s komen bepaalde dorpen, zoals Borgharen, in de problemen [Rijkswaterstaat, 1992].



**Figuur 4 - Stuwen in de Maas (Rijkswaterstaat, 1992)**

### 1.5 Helling en breedte

De dimensies van de breedte en diepte in de Maas variëren. Stroomafwaarts neemt de breedte zeer geleidelijk toe van 120 m bij de Belgische grens naar 160 m bij Hedel. De helling van de rivier neemt af wanneer de rivier Haringvliet benaderd. Het Nederlandse deel van de Maas is gekenmerkt door een kleinere helling in tegenstelling tot het Franse en Belgische deel. Hierdoor ontstaan er kleinere stroomsnelheden met als gevolg dat de rivier breder wordt. In tabel 1 zijn per stuwpaand de gemiddelde helling en breedte gepresenteerd [Semmekrot & Vries, 1992].

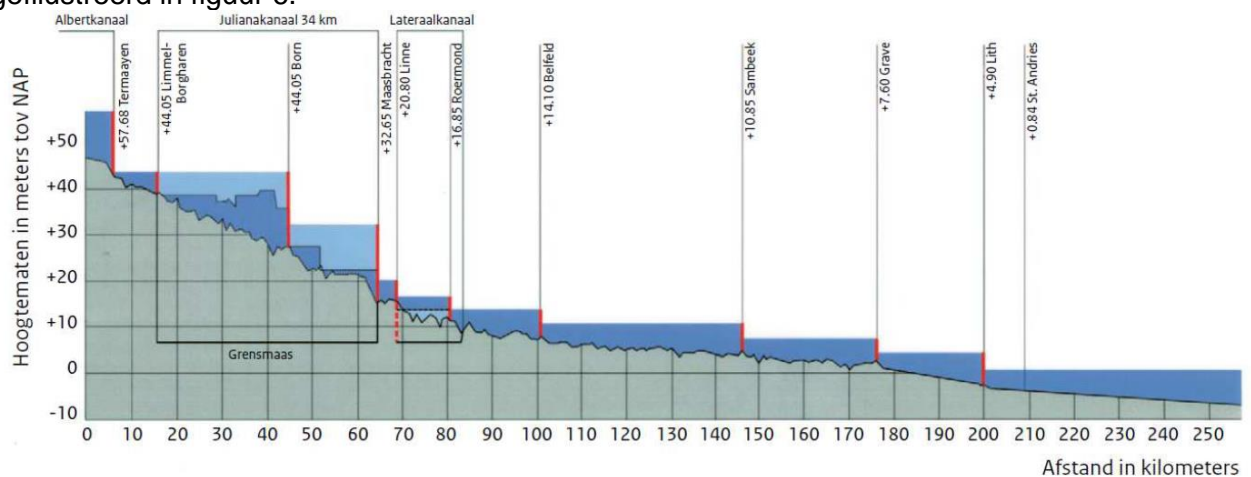
**Tabel 1 - Gemiddelde helling en breedte in de Maas (Semmekrot & Vries, 1992)**

Stuwpaand	Helling [‰]	Breedte [m]
Lixhe – Borgharen	0.34	120
Borgharen – Linne	0.30	120
Linne – Roermond	0.15	120
Roermond – Belfeld	0.08	140
Belfeld – SambEEK	0.10	140
SambEEK – Grave	0.12	160
Grave – Lith	0.10	160

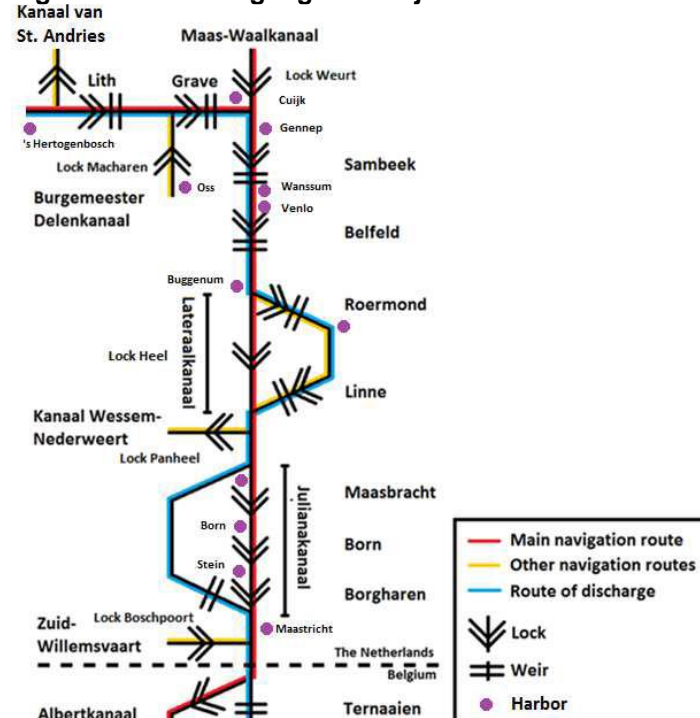


## A2. De Maasstuwen

Om de Maas bevaarbaar te houden, zijn begin vorige eeuw een zevental stuwen gerealiseerd als onderdeel van de eerste kanalisatie van de Maas. Hierdoor bestaat het Nederlandse deel van de Maas uit zeven stuwpanden. Verder zijn er ook twee kanaalpanden gerealiseerd in het Julianakanaal. Deze kanaalpanden worden gecontroleerd door een tweetal sluizen bij Born en Maastricht. De kanaalpanden hebben geen afvoerfunctie (afvoer gaat via de Grensmaas) en daarom zijn er geen stuwen aanwezig. In figuur 5 vindt men een representatie van de stuwpanden met bijbehorende bodemhellingen en waterniveaus. De stuwen zijn gelokaliseerd (bovenstrooms tot benedenstrooms) bij Borgharen, Linne, Roermond, Belfeld, Sambeek, Grave en Lith. Een representatie van de stuw- en kanaalpanden met bijbehorende stuwen en sluizen is geïllustreerd in figuur 6.



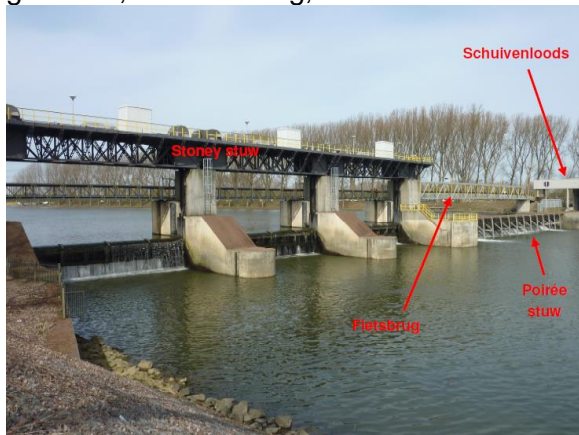
Figuur 5 - De maasgangen en bijbehorende waterniveaus (Rijkswaterstaat,2018)



Figuur 6 - Schematisatie van de maas met stuw- en kanaalpanden(Verduijn, 2015)

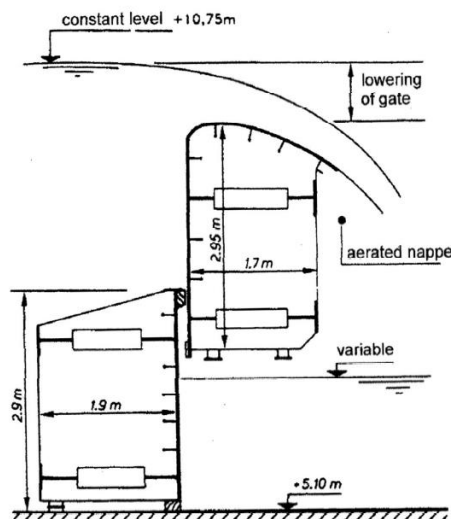
### 2.1 Stuw Linne

De stuw Linne is gebouwd in 1926. Dit type stuw (Poirée en Stoney) is ook gebouwd in Roermond, Belfeld en Sambek. De stuw bestaat uit Stoney openingen, een Poirée gedeelte, een fietsbrug, een waterkrachtcentrale en een vistrap, zie figuur 7.



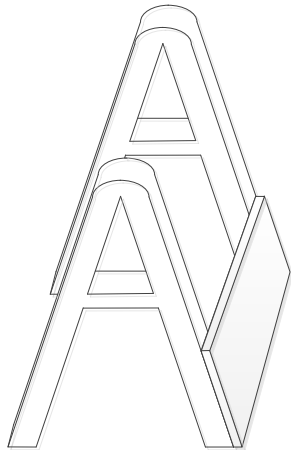
**Figuur 7 - Stuw Linne (bron: Iv-Infra)**

In tegenstelling tot de andere stuwen wordt de stuw nooit opengesteld voor scheepvaart. De Stoney openingen bestaan uit een stalen boven- en onderschuif, zie figuur 8. Deze worden centraal bediend op het nautisch centrum te Heel en zorgen voor de fijnregeling van het bovenpand. Boven de betonnen pijlers bevindt zich een stalen vakwerkbrug met bewegingswerken voor de schuiven.



**Figuur 8 - Stoney schuif (Rijkswaterstaat,2018)**

HET POIRÉE GEDEELTE VAN DE STUW IS ONGEVEER 60 METER BREED WAARIN VEERTIEN JUKKEN ZIJN GEBOUWD. TUSSEN DE JUKKEN BEVINDEN ZICH DE SCHUIFCONSTRUCTIES, BESTAANDE UIT ÉÉN GROTE ONDERSCHUIF EN TWEE KLEINE MIDDEN- EN BOVENSCHUIVEN, ZIE FIGUUR 9. BIJ HOGE AFVOEREN WORDEN DE SCHUIVEN GETROKKEN EN OPGESLAGEN IN DE SCHUIVENLOODS.



**Figuur 9 - Schematische weergave Poiréestuw (Rijkswaterstaat,2018)**

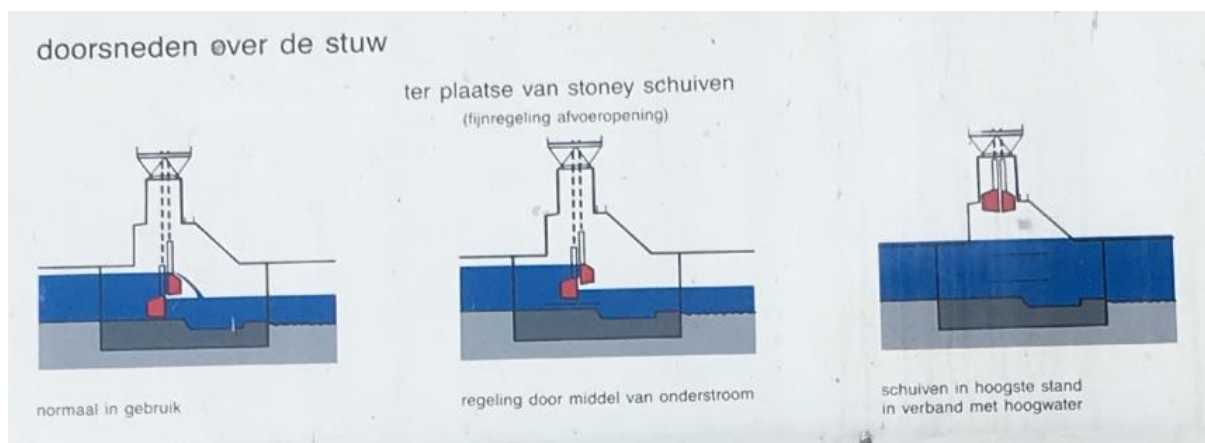
De functies van de stuw zijn:

- Het handhaven van de waterstand in het bovenpand (+20.8 m NAP in het bovenpand en +16.85 m NAP in het benedenpand door stuw Roermond).
- Het bieden van een volledige doorstroomopening. Bij een afvoeren (gemeten bij Borgharen) van 1250 m<sup>3</sup>/s wordt de stuw gestreken.

Ter plaatse van het Stoney gedeelte is een stuwvloer met woelbak gemaakt. Dit is een vloerplaat van gewapend beton met een maximale dikte van 3.30 meter. Ter plaatse van de woelbak is de vloer 2.10 meter. Ter plaatse van het Poirée gedeelte is een gewapend betonnen stuwvloer aangebracht. Dit is een vloerplaat van gewapend beton met een maximale dikte van 2.55 meter aan bovenstroomse zijde en 1.90 meter aan benedenstroomse zijde. In de vloer zijn de verankeringen van de jukken aangebracht. Onder de stuw zijn damwanden aangebracht tegen onder- en achterloopsheid. Verder zijn er overgangsschermen geplaatst ter plaatse van de overgangen naar de granulaire bodembescherming.

### **2.1.1 Procesbeschrijving handhaving waterstanden**

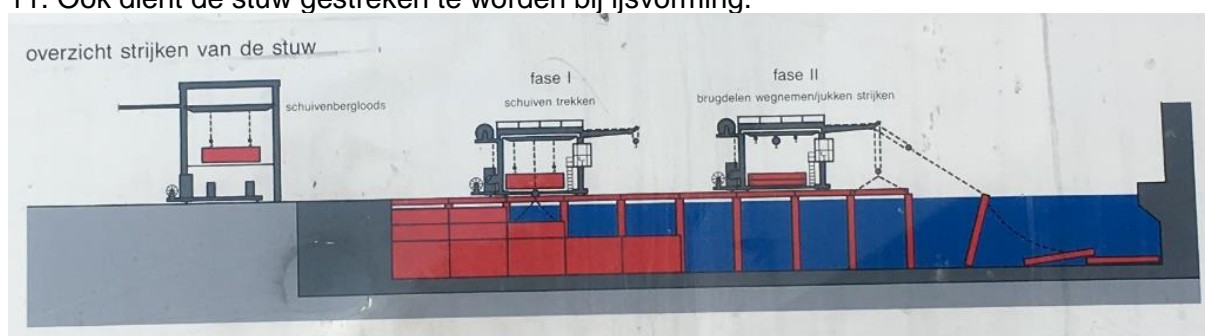
Het handhaven van de waterstanden wordt gedaan door middel van de waterkrachtcentrale en de stuw. Deze zijn op elkaar afgestemd en worden gecontroleerd vanuit het nautisch centrum. Men wilt de doorlaat via de waterkrachtcentrale zo groot mogelijk maken om maximale energieopwekking te bereiken. De waterkrachtcentrale bestaat uit vier turbines met elk een doorlaat van 110 m<sup>3</sup>/s. Bij rivierafvoeren tot 450 m<sup>3</sup>/s gaan de afvoeren volledig via de waterkrachtcentrale en is de stuw volledig gezet. Bij afvoeren tussen 450 en 600 m<sup>3</sup>/s wordt de waterkrachtcentrale samen met de stuw ingezet, waarbij de stuw deels doorlaat. Bij afvoeren boven de 600 m<sup>3</sup>/s worden de turbines dichtgezet en wordt er volledig via de stuw gespuid. De stuw heeft drie Stoney openingen en deze worden gebruikt voor de fijnregeling van de waterstanden, zie figuur 10. De onderschuiven van het Stoney gedeelte blijven op de grond staan en de normale regeling geschiedt via de bovenschuif, zie figuur. De mogelijke afvoer over de Stoney openingen bedraagt ongeveer 220 m<sup>3</sup>/s. Het Poirée gedeelte bestaat uit vijftien boven-, midden- en onderschuiven. Elke schuif kan afzonderlijk er worden uitgehaald en ingezet, afhankelijk van de gewenste afvoer.



**Figuur 10 - Afvoerregeling Stoney**

### 2.1.2 Procesbeschrijving bieding volledige doorstroomopening

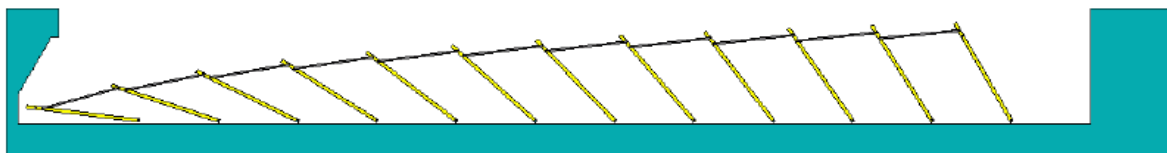
Bij afvoeren boven de 1250 m<sup>3</sup>/s dient het Poirée gedeelte als volledige doorstroomopening te fungeren. De stuw wordt dan gestreken nadat de boven- en middenschuiven zijn verwijderd, de onderschuiven om en om zijn verwijderd en de Stoney schuiven omhoog zijn getrokken. De resterende onderschuiven worden vervolgens getrokken en vervolgens kunnen de vijftien brugdelen worden verwijderd en deze worden opgestapeld in de schuivenloods. Uiteindelijk wordt de stuw volledig gestreken en worden de jukken dwars in stroomrichting neergeklapt. Het gehele proces is geïllustreerd in figuur 11. Ook dient de stuw gestreken te worden bij ijsvorming.



**Figuur 11 - Proces strijken stuw**

## 2.2 Stuw Roermond, Belfeld en Sambeek

De stuwen nabij Roermond, Belfeld en Sambeek zijn op dezelfde manier opgebouwd, zie figuur 13,14 en 15. Ze bestaan uit een Stoney en Poirée deel. Ze zijn gebouwd in respectievelijk 1921, 1921 en 1924. De Stoney schuiven van de stuwen worden allen centraal bediend vanuit het nautisch centrum te Heel. De principes van het Poirée en Stoney gedeelte zijn hetzelfde als beschreven voor de stuw Linne in sectie 2.1. De Poirée opening van de stuwen zijn in tegenstelling tot stuw Linne wel beschikbaar voor scheepvaart bij hoge afvoeren. Na verwijdering van de schuiven worden de jukken, net zoals bij stuw Linne, dwars in stroomrichting neergeklapt, zie figuur 12.



**Figuur 12 - Principe neerklappen jukken (Iv-Infra,2010)**



**Figuur 13 - Stuw Roermond (IV-Infra,2010)**



**Figuur 14 - Stuw Belfeld (IV-Infra,2010)**

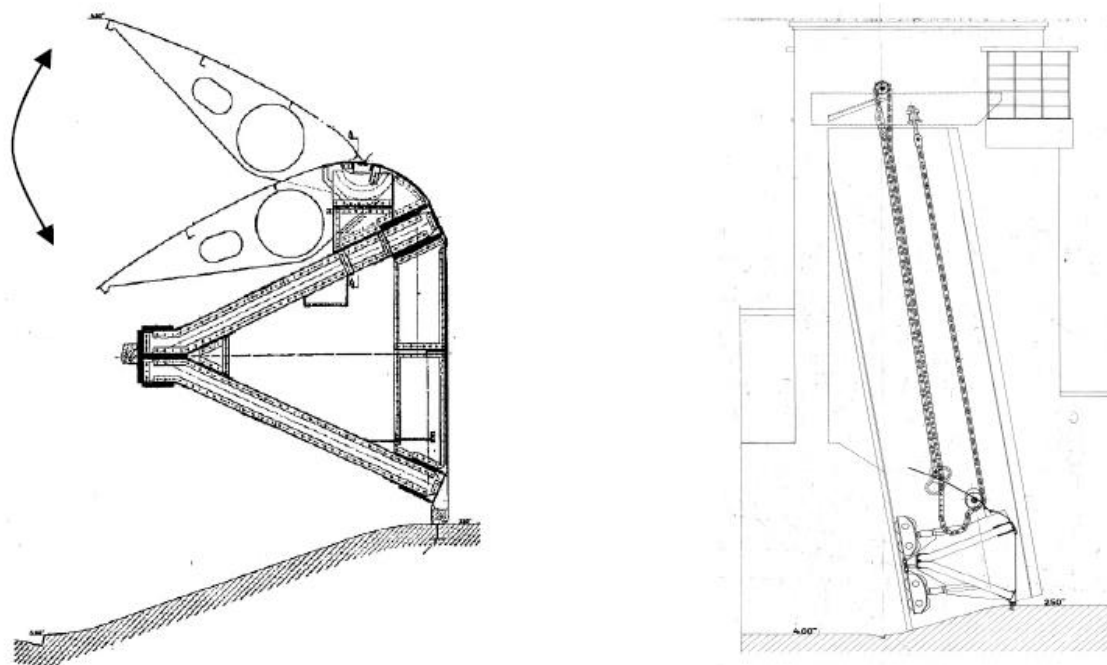




Figuur 15 - Stuw Sambeek (IV-Infra,2010)

### 2.3 Stuw Lith

De stuw Lith is gebouwd in 1936 en reguleert het rivierpand bovenstrooms. De stuw bestaat uit een noordelijk en zuidelijk landhoofd en twee pijlers. Op de landhoofden en pijlers zijn vier heftorens gebouwd. Tussen de heftorens bevinden zich drie gelijke openingen. Elke opening bestaat uit drie elementen: een vast gedeelte, de hefschuif en de regelklep, zie figuur 16.



Figuur 16 - Doorsneden stuw Lith (IV-Infra,2010)

### 2.4 Stuw Grave

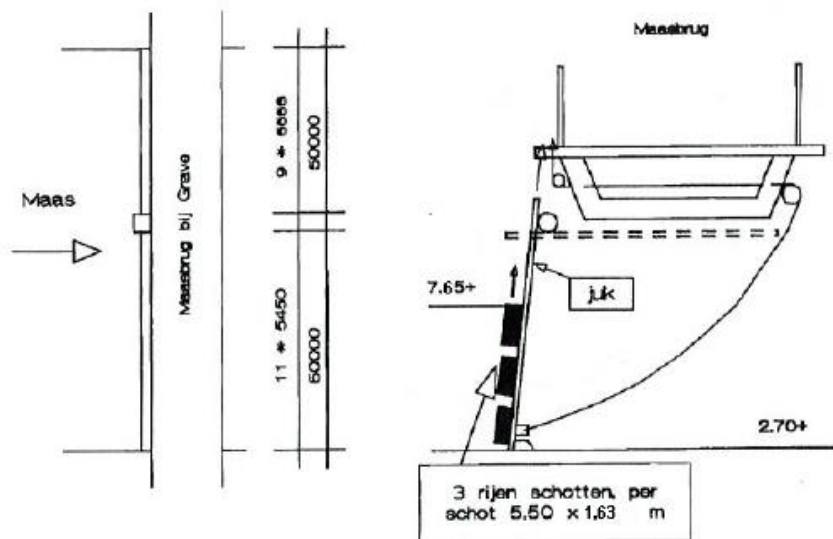
De stuw Grave is in 1926 gebouwd en reguleert de afvoer over de Grensmaas, zie figuur 17 en 18. Naast de stuw is een sluis gerealiseerd. De stuw bestaat uit een grote en een kleine stuwopening. De openingen hebben beide drie rijen schotten. Benedenstrooms de

stuw bevindt zich een verdiepte stuwvloer met stroom brekende tanden. De schotten zijn bevestigd aan in totaal 20 jukken die deels omhoog getrokken kunnen worden, ook al bekend als een “omgekeerde Poirée”. Bij afvoeren boven de 1650 m<sup>3</sup>/s zijn alle schotten getrokken en worden de jukken omhoog getrokken en onder de brug geklapt. Hierdoor heeft de rivier een open doorvaartfunctie.



Figuur 17 - Stuw Grave (IV-Infra,2010)

STUW GRAVE



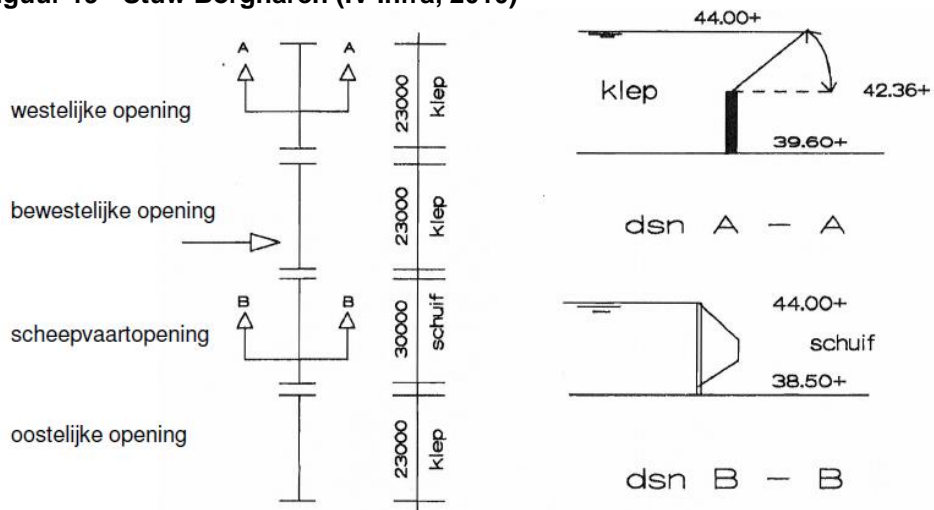
Figuur 18 - Boven- en zijaanzicht stuw Grave (Antea, 2014)

## 2.5 Stuw Borgharen

De stuw Borgharen is in 1928 gebouwd als onderdeel van de Maaskanalitie. Het is de meest bovenstroomse stuw in de Maas in Nederland. De hoofdfunctie van de stuw is het regelen van het bovenstrooms stuwpeil (de Grensmaas) en het peil van het Julianakanaal. Naast de stuw bevindt zich een sluis. De stuw bestaat uit vier gedeelten, drie schuif/klepdelen en één schuifdeel (scheepvaartopening), zie figuur 19 en 20. Benedenstrooms is een verdiepte stuwvloer met stroom brekende tanden aangelegd. Bij afvoeren groter dan 1250 m<sup>3</sup>/s worden de schuiven geheel getrokken en is er een uitwijkmogelijkheid door de scheepvaartopening.



**Figuur 19 - Stuw Borgharen (IV Infra, 2010)**



**Figuur 20 - Bovenaanzicht en doorsneden stuw Borgharen (Antea, 2014)**

Uit IV-Infra (2010) en Antea (2014).

### A3. Stuwen

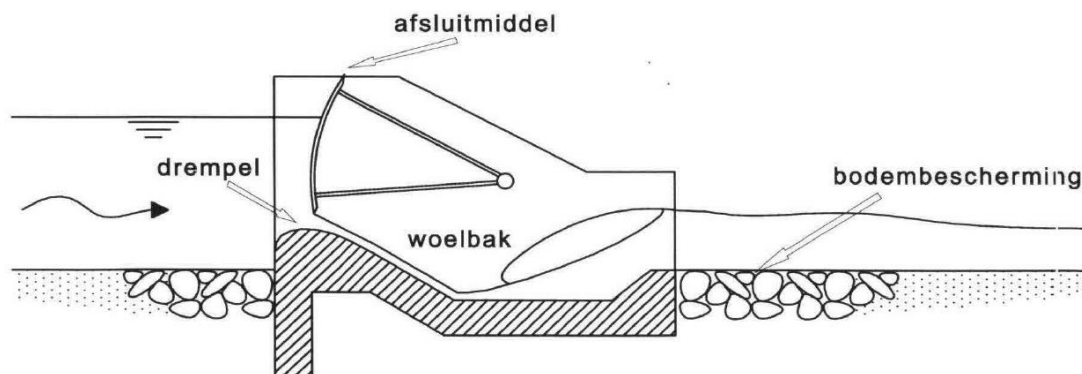
Er bestaan vaste stuwen, ook wel stuwdammen genoemd, en er bestaan beweegbare stuwen. In deze studie worden de stuwdammen niet meegenomen. Wanneer er wordt gesproken over een stuw wordt een beweegbare stuw bedoeld.

Een stuw is een waterbouwkundige constructie met één of meerdere beweegbare keringen met als hoofdfunctie het waterniveau bovenstrooms op peil te houden tijdens perioden van lage debieten. Door het handhaven van een vooraf bepaald peil is de rivier beschikbaar voor onder andere scheepvaart, watervoorzieningen, waterenergie en irrigatie. Het belangrijkste verschil ten opzichte van een stormvloedkering is dat een stormvloedkering ingezet wordt in tijde van extreme waterstanden. De stuw is dus veel vaker actief in vergelijking met een stormvloedkering.

Stuwcomplexen worden in de meeste gevallen gebouwd in combinatie met sluisen, indien scheepvaart een rol speelt. In normale omstandigheden zal de scheepvaart gebruik maken van de sluisen en tijdens hoge afvoeren gaat in sommige gevallen de scheepvaart door een gestreken stuw.

De voornaamste functionele onderdelen van een stuw zijn (zie figuur 21):

- Het afsluitmiddel voor keren en opstuwen
- De landhoofden en pijlers voor krachtafdracht naar de ondergrond
- De drempel voor stabiliteit tegen stroming water
- Bodembescherming
- Geleidewerken voor stroming
- Woelbak voor fixeren watersprong



Figuur 21 - Typische doorsnede stuw (Bezuven et al, 2007)

#### 3.1 Hydraulische aspecten

Voor een stuw is scheepvaartverkeer één van de belangrijkste functies. Om scheepvaart mogelijk te maken in een rivier, moet de rivier een minimaal peil hanteren, afhankelijk van de scheepvaart klasse. Waterdiepte en debieten zijn afhankelijk aan elkaar, dus om een bepaalde diepte te bereiken moet er een bepaalde afvoer aanwezig zijn. Deze relatie is beschreven met de formule van Chézy (voor een rechthoekige doorsnede):

$$Q = C * B * h (h * i)^{\frac{1}{2}}$$

Waarbij:

C	[m <sup>1/2</sup> /s]=	Chézy	coëfficiënt
B	[m]=	Breedte	waterweg
i	[-]=	helling	waterweg
h	[m]=	lokale waterdiepte	

Het waterniveau voor een vrij afvoerende rivier bereikt een evenwichtsdiepte  $d_e$ . Deze diepte is afgeleid uit de formule van Chézy:



$$d_e = \left( \frac{Q^2}{C^2 * B^2 * i_b} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Wanneer er interventies worden gedaan in de rivier betreft de waterstand, heeft dit invloed op de waterstanden boven- en benedenstrooms van de rivier. Dit noemt men ook wel de "backwater" effecten. De invloed van de backwater effecten bepaald men met behulp van de halve-length formule. Dit is de lengte waarover het maximale waterniveau is gehalveerd:

$$L_{\frac{1}{2}} = 0.24 * \frac{d_e}{i_b} * \left( \frac{h_0}{d_e} \right)^{\frac{4}{3}}$$

Waarbij:

$L_{1/2}$  = gehalveerde lengte  
 $d_e$  = evenwichtsdiepte  
 $i_b$  = helling van de rivierbodem  
 $h_0$  = benedenstroomse waterstand

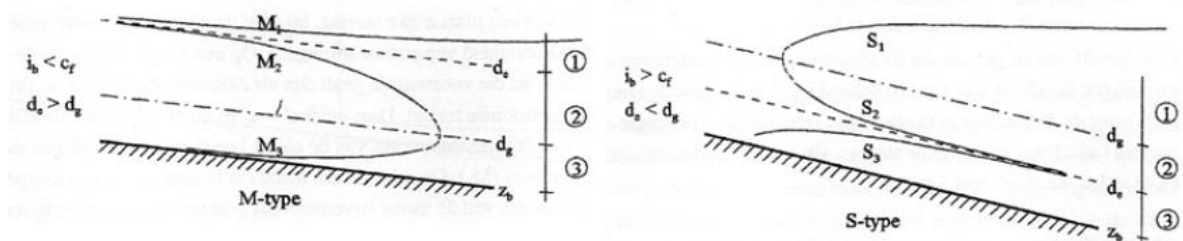
Met behulp van de methode van Bresse kan men bepalen wat de waterstand is op een bepaalde afstand van de interventie.

$$h(x) = d_e + (h_0 - d_e) * \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{x-x_0}{L(\frac{1}{2})}}$$

De vorm van de waterline die ontstaan door de backwater curve is afhankelijk van het froudegetal. Het froudegetal wordt bepaald door de verhouding van de kracht ten gevolge van traagheid en gravitatie. Bij een froudegetal kleiner dan 1 spreekt men van een subkritische stroming (milde helling, M-type) en bij een froudegetal groter dan 1 spreekt men van een superkritische stroming (Stijle helling, S-type), ook wel schietend water genoemd. Met de kritische waterdiepte  $d_g$  wordt de transitie tussen subkritische en superkritische stromingen bepaald. Deze diepte ontstaat bij een froudegetal gelijk aan 1.

$$d_g = \left( \frac{Q^2}{B^2 * g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

In figuur 22 ziet men de vorm van de waterlijnen voor M en S type in verschillende situaties.



Figuur 22 - Verschillende vormen van waterlijnen door backwater effect (TU Delft CT2100)

### 3.2 Stuwtypen

Er zijn veel verschillende stuwtypen te onderscheiden. Het type stuw is gekenmerkt door het type kering (afsluitmiddel) dat wordt gebruikt om de rivier (gedeeltelijk) te sluiten. In de Maas zijn, per locatie, al een aantal een aantal stuwtypen te onderscheiden, zoals de Poirée en Stoney principes. Er zijn echter veel meer stuwtypen bekend. Bezuyen (2007) beschrijft de mogelijkheden qua afsluitmiddel in een morfologische kaart, zie figuur 23. In theorie zijn volgens deze kaart 2160 oplossingen worden gevormd. Echter moet er op basis van toetsingscriteria worden nagegaan welke oplossingen in aanmerking komen. In deze sectie worden een aantal bekende stuwtypen omschreven met bijbehorende toepassingen.

ASPECT		OPLOSSINGPRINCIPE					
		1	2	3	4	5	6
A	plaats v.d. krachtsoverdracht	onder	boven	zijkant	voor	achter	combinatie
B	aard v.h. afsluitelement	vormvast	vervormbaar	samenstel			
C	bewegingsinrichting	translatie in y-richting	translatie in z-richting	rotatie om x-as	rotatie om y-as	rotatie om z-as	combinatie
D	aantal elementen	één	meerdere in x richting	meerdere in y-richting	meerdere in z-richting		
E	plaats v.d. doorlaatopening	onder	boven	in/door	naast	combinatie	

Figuur 23 - Morfologische kaart oplossingen afsluitmiddel (Bezuyen et al, 2007)

### 3.2.1 Vizerstuw

*Combinatie A3,B1,C4,D1,E1*

De vizerstuw bestaat uit halfcirkelvormige segmentschuiven. De schuiven draaien om scharnieren in de pijlers en landhoofden. De naam vizer komt voort uit het feit dat de schuiven lijken om de helm van middeleeuwse ridders. De schuiven worden bewogen door kabels en de schuiven worden gehesen over maximale hoek van ongeveer 60 graden om de vereiste doorvaarthoogte voor scheepvaart te bereiken. Een groot voordeel van de vizerstuw is dat het zorgt voor gespreide afvoer, wat gunstig is voor de bodembescherming achter de stuw.

Een bekende toepassing zijn de vizerstuwen in de Rijn, zie figuur 24. Deze stuwen (in totaal drie) zijn gebouwd in de jaren 60 en bestaan uit dubbele vizerkeringen met elk een overspanning van 54 meter. De stuwen worden gebruikt voor energiewinning en navigatie.

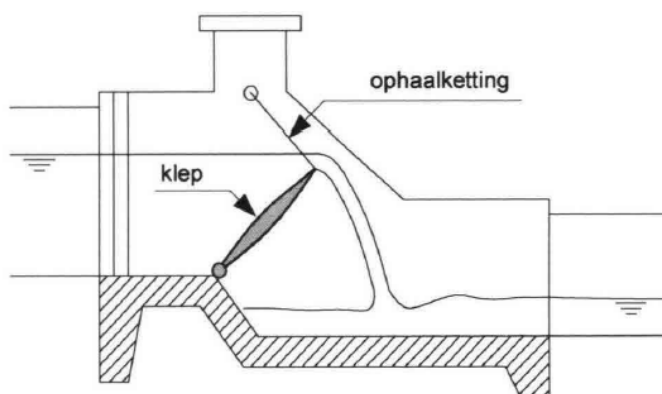


Figuur 24 - Vizerstuw bij Amerongen (Wikipedia)

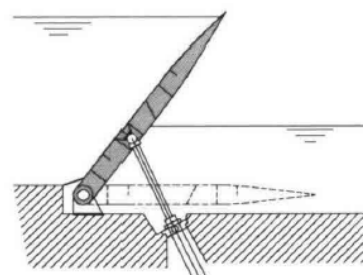
### 3.2.2 Klepstuw

*Combinatie A1,B1,C4,D1,E2*

De klepstuw bestaat uit een, vaak in doorsnede vorm uitgevoerd als visbuis, scharnierende klep die aan de drempel is verbonden. Het bewegen van de klep gaat met behulp van trekkabels en lieren of door middel van duwpersen, zie figuur 25. De constructie bevindt zich grotendeels onder water, wat nadelig is voor onderhoud.



Figuur C-2: Klepstuw met kettingen



Figuur C-3: Klepstuw met duwpersen

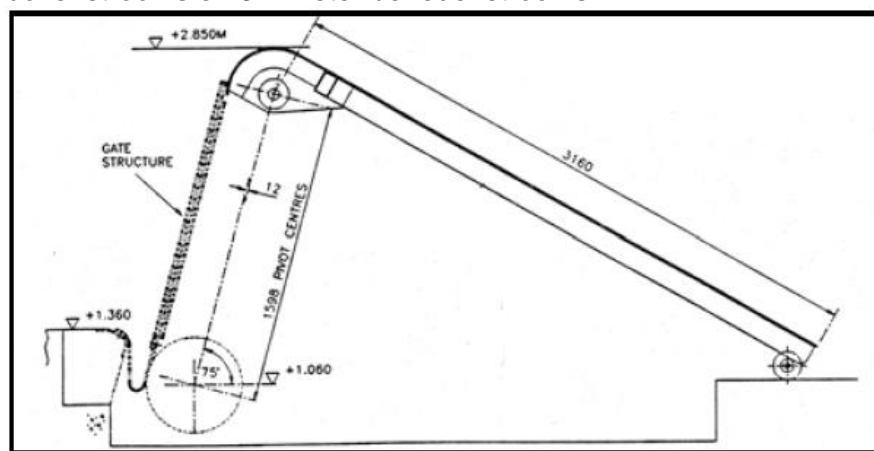
Figuur 25 - Klepstuw met kettingen (l) en met duwpersen (r) (Bezuyen et al,2007)

### 3.2.3 Dakstuw

*Combinatie A6,B3,C4,D2,E2*

De dakstuw bestaat uit een korte en langere stuwklep. De kleppen zijn scharnierend verbonden met de drempel en vormen een driehoek. Via riolen worden er water aangebracht en onttrokken in de driehoekige ruimte om de stuw te verhogen respectievelijk te verlagen. Een belangrijk ontwerpaspect is het tegengaan van lekkages en er is gevaar voor ijsvorming en sedimentafzetting. Voor het tegengaan van lekkages wordt de voeg meestal toegepast aan bovenstroomse zijde van de stuw.

Een toepassing van de dakstuw vindt men in het Verenigd Koninkrijk bij Tees, zie figuur 26. Hier staat een 6 meter brede dakstuw met kleppen met een lengte van 1.6 meter bovenstrooms en 3.2 meter benedenstrooms.

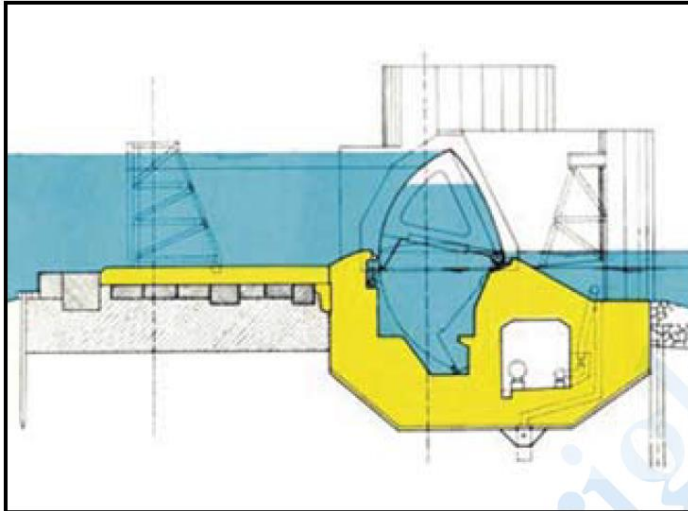


Figuur 26 - Dakstuw in Tees, Verenigd Koninkrijk (PIANC,2006)

### 3.2.4 Sectorstuw

*Combinatie A6,B1,C4,D1,E2*

In tegenstelling tot de dakstuw zijn bij een sectorstuw de stuwklep en steunklep door vakwerkliggers verbonden tot één stuwlichaam. Het afsluitmiddel is scharnierend verbonden aan de drempel aan benedenstroomse zijde. Net zoals bij de dakstuw wordt de stuw verhoogd en verlaagd door aanbrenging en onttrekking van water. Een belangrijk ontwerpaspect is de inkassing van de drempel en het tegengaan van sedimentafzetting. Een toepassing van de sectorstuw is te vinden in Tsjechië in de Labe Rivier, zie figuur 27. Hier is de sectorstuw te vinden met een totale overspanning van 54 meter met een kerende hoogte van 2.70 meter.



Figuur 27 - Sectorstuw in Tsjechië (PIANC,2006)

### 3.2.5 Schotbalkstuw

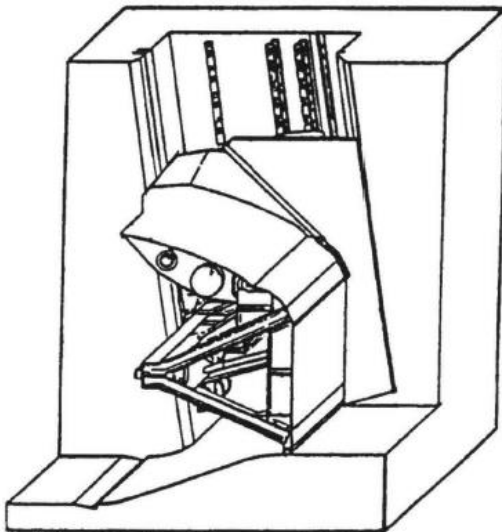
*Combinatie A3,B1,C2,D4,E2*

De stuwelementen worden gevormd door een opstapeling van houten balken of stalen liggers. Waterstandsregeling geschiedt trapsgewijs, waardoor fijnregeling niet mogelijk is. Verder zijn schotbalken lastig aan te brengen in stromend water. Een toepassing van de schotbalkstuw zijn de Poirée stuwen in de Maas (zie sectie 2.1).

### 3.2.6 Schuivenstuw

*Combinatie A3,B1,C2,D1,E2*

De schuivenstuw is geavanceerde toepassing van de schotbalkstuw. Hier worden de liggers gecombineerd tot één plaat, zie figuur 28. Een belangrijk ontwerpaspect is het omgaan met grote wrijvingskrachten die optreden bij het bewegen van de schuif. Over het algemeen worden de schuiven met wielstellen uitgerust. Een toepassing van de schuivenstuw zijn de Stoney stuwen in de Maas bij bijvoorbeeld Linne. Hier is de stuw uitgerust met dubbele schuiven (zie sectie 2.1).



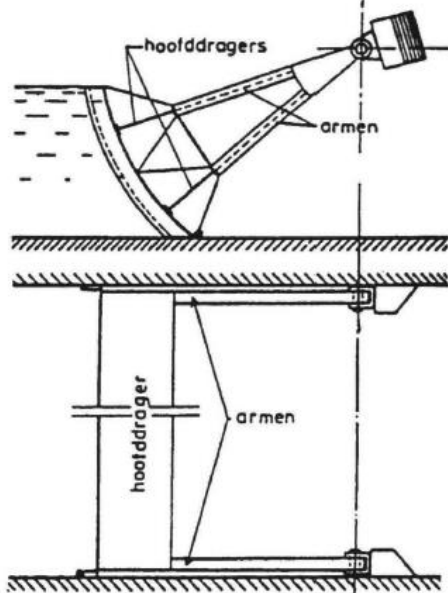
Figuur 28 - Schuivenstuw (Bezuyen, 2007)

### 3.2.7 Segmentstuw

*Combinatie A6,B1,C4,D1,E5*



Een segmentstuw heeft een gebogen keervlak in de vorm van een cirkelsegment, ondersteund door een verstijvingsframe dat de waterdrukken via twee oplegarmen overbrengt naar de scharnieren, zie figuur 29. De segmentstuw wordt aangedreven met een lierwerk of een hydraulische duwpers. Men kan bij een segmentstuw zowel onder als bovenafvoer realiseren. Indien bovenafvoer gewenst is kan men overwegen een klep op de segmentstuw aan te brengen.



Figuur 29 - Segmentstuw (Bezuyen, 2007)

### 3.2.8 Opblaasbare stuw

*Combinatie A1,B2,C2,D1,E2*

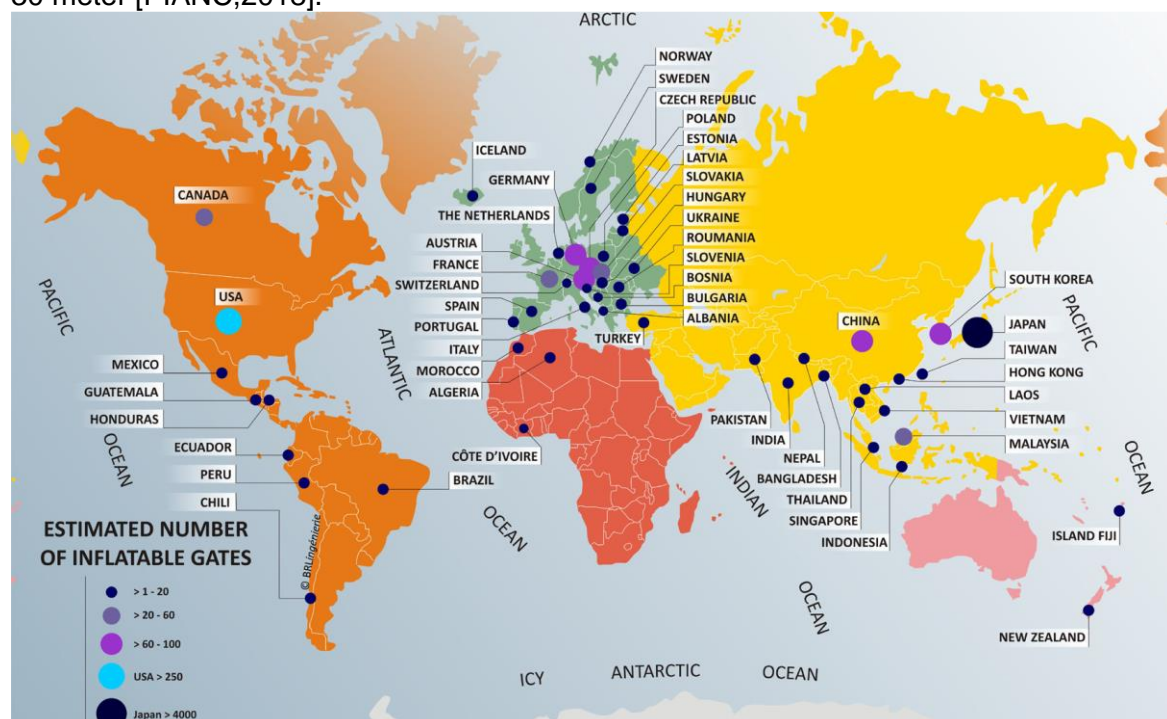
Dit type stuw wordt uitgebreid behandeld in hoofdstuk 4: Opblaasbare stuw.

## A4. Opblaasbare stuw

De opblaasbare stuw (balgstuw) is een type stuw met een opblaasbare rubberen kering die worden verhoogd door het toepassen van druk in het rubberen lichaam. Er zijn twee type te onderscheiden: de rubberen keringen (rubber gates) en de rubberen keringen in combinatie met stalen kleppen (steel-rubber gates, Obermeyer). Beide keringen worden opgeblazen door het pompen van water en/of lucht in het rubberen lichaam om tot de gewenste design hoogte of druk te komen. Voor de rubberen kering wordt de hoofdstructuur meestal benoemd met “rubberen lichaam” of “membraan”, terwijl voor de staal-rubberen keringen de hoofdstructuur benoemd wordt met “luchtblaas” of “membraan”.

### 4.1 Ontwikkeling van de opblaasbare constructies

Opblaasbare constructies worden gebruikt als water controlerende constructies voor meer dan 60 jaar. De eerste rubberen kering is gebouwd in de jaren 50 in Amerika, Los Angeles. De eerste stalen-rubberen kering is eind jaren '80 gebouwd. Overal ter wereld wordt het gebruik van dit type constructie steeds belangrijker op binnenlandse waterwegen. Alsnog worden opblaasbare constructies voor het grootste gedeelte gebruikt voor andere functies, zoals irrigatie en recreatie. Vandaag de dag zijn er ongeveer 5000 opblaasbare constructies actief wereldwijd. Hiervan is minder dan 10% een toepassing van de stalen-rubberen kering. In 2017 is met behulp van installatie archieven van verschillende leveranciers een indicatie van de allocatie gemaakt, zie figuur 30. Voor een rubberen kering is de grootste toegepaste kerende hoogte 6 meter en voor een stalen-rubberen kering is dit 8,50 meter. De grootste toepaste breedte is in totaal 640 meter, met een maximale overspanning van 110 meter. Dit zijn echter maximaal gevonden waarden. Uit analyse van 1000 opblaasbare constructies blijkt 88% een kerende hoogte van minder dan 3 meter te hebben en 70% van de constructies heeft een breedte die smaller is dan 30 meter [PIANC,2018].



Figuur 30 - Opblaasbare keringen wereldwijd (PIANC, 2018)

#### 4.1.1 Opblaasbare keringen in Azië en de standaard

In Azië (maar ook wereldwijd) is met voorsprong Japan de grootste pionier op het gebied van opblaasbare constructies. De eerste rubberen kering is geïnstalleerd in 1964.

Sindsdien zijn er meer dan 3900 stuwen met opblaasbare keringen actief. De staal-rubberen kering is voor het eerst gebouwd in 2001 en sindsdien zijn er 79 staal-rubberen keringen gebouwd in Japan. De Japanse Ministerie van Land, Infrastructuur en Transport (MLIT) erkende de voordelen van deze technologie en liet meerdere technische studies uitvoeren voor rubberen keringen. Hieruit volgde in 1978 een eerste technische standaard voor rubberen keringen. Voordat de technische studies waren uitgevoerd was de kerende hoogte gelimiteerd tot 3 meter. Later werd met behulp van prototypen van grotere rubberen keringen de kerende hoogte verhoogd tot 6 meter. De standaard in sinds 1978 twee keer vernieuwd (JICE,200b) en in 2007 is de eerste standaard voor staal-rubberen keringen gepubliceerd (JICE,2007c). In de laatste editie van de standaard (MLIT,2015b) zijn de rubberen kering en de staal-rubberen kering gecombineerd.

#### **4.1.2 Opblaasbare keringen in Amerika**

In Amerika wordt deze technologie significant minder toegepast dan in Azië. Wel is in de Verenigde Staten door Henry Obermeyer de staal-rubberen kering ontwikkeld (zie sectie 4.2). In de Verenigde Staten zijn er ongeveer 350 opblaasbare keringen met een maximale toegepaste kerende hoogte en overspanning van respectievelijk 4.9 meter en 90 meter. Hiervan zijn er 80 toegepast als rubberen keringen (23%) en 270 als staal-rubberen keringen (77%). In andere landen in Amerika wordt de technologie op kleinere schaal toegepast.

#### **4.1.3 Opblaasbare keringen in Europa**

De eerste rubberen kering is in Frankrijk geïnstalleerd in 1960 in Aubas in de Vézère. In een periode van 10 jaar daarna zijn er tien rubberen keringen gebouwd, voornamelijk voor recreatieve functies. Echter, veel van deze rubberen keringen zijn vervangen door traditionele stalen keringen omdat er geen vertrouwen was in de technologie. Er werd gedacht dat de rubberen lichamen moeilijk te demonteren of te repareren waren. De rubberen keringen die wel bleven staan hebben daarentegen geen problemen ondervonden. Sinds de jaren 70 werd er in Frankrijk niet bijna geen gebruik gemaakt van de opblaasbare keringen. Pas in 1985 lieten de Franse autoriteiten een prototype van een rubberen kering bouwen in de Maas. Het rubberen lichaam had een uniek ontwerp in tegenstelling tot de eerdere gebruikte rubberen lichamen. Helaas ondervond de rubberen kering meerdere problemen en werd vernietigd tijdens een storm. De eerste staal-rubberen keringen voor scheepvaartfuncties zijn pas gebouwd in de 21<sup>e</sup> eeuw. Ook worden er tot 2020 29 dammen vervangen door water-gevulde rubberen keringen. In Zwitserland zijn vier water-gevulde rubberen keringen toegepast in het bovengedeelte van de Rhijn. Voor bescherming tegen vries zijn ze uitgerust met een verhitsysteem. In Duitsland is de technologie in 1969 geïntroduceerd. In voormalig Oost-Duitsland zijn luchtgevulde rubberen lichamen geïnstalleerd in de Mulde Rivier. 20 jaar later zijn er tien rubberen keringen gebouwd in West-Duitsland. De oudste opblaasbare constructie is gebouwd in 1981 in de Regnitz rivier. In 1975 is een water-gevulde rubberen kering gebouwd in rivier Lahn. Door een combinatie van een slecht ontwerp en moeilijke hydraulische omstandigheden is de constructie al na twee jaar gefaald. De eerste stuw (functie reguleren waterniveau) is in Duitsland pas in 2006 gebouwd. Er zijn in Duitsland ongeveer 100 rubberen keringen, waarvan twee-derde deel water-gevuld is en één-derde deel lucht-gevuld.

In Nederland is een vorm van deze technologie voor het eerst ontwikkeld in 1966. Toen is er een prototype gemaakt van een zogeheten schaalvormige stuw (shell-weir). Dit bestaat uit metalen boxen die geankerd zijn op het vlot die tijdens het openen opblaasbare blaasjes vrijlaten. Er zijn ongeveer twaalf opblaasbare constructies toegepast in Nederland. De grootste is de stormvloedkering in Ramspol, gebouwd in 2001, zie sectie 5.1. In andere landen in Europa wordt de technologie significant toegepast, waarbij meestal water als vulmedium wordt gebruikt.

In andere continenten wordt de technologie op kleine schaal toegepast.

#### 4.1.4 Omvang toepassing en vulmedium

Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar de toepassing van verschillende opblaasbare constructies. Hierbij is gekeken naar de kerende hoogte versus de overspanningsbreedte. Eén onderzoek richt zich op in totaal 1000 opblaasbare constructies wereldwijd, exclusief Japan. Hieruit blijkt dat de meeste opblaasbare constructies zijn toegepast voor een kerende hoogte tussen de 1 en 2 meter bij een overspanning tot 10 meter. Voor zowel de kerende hoogten als de overspanningsbreedte is geen lineair verband te zien in de toepassing, zie figuur 31.

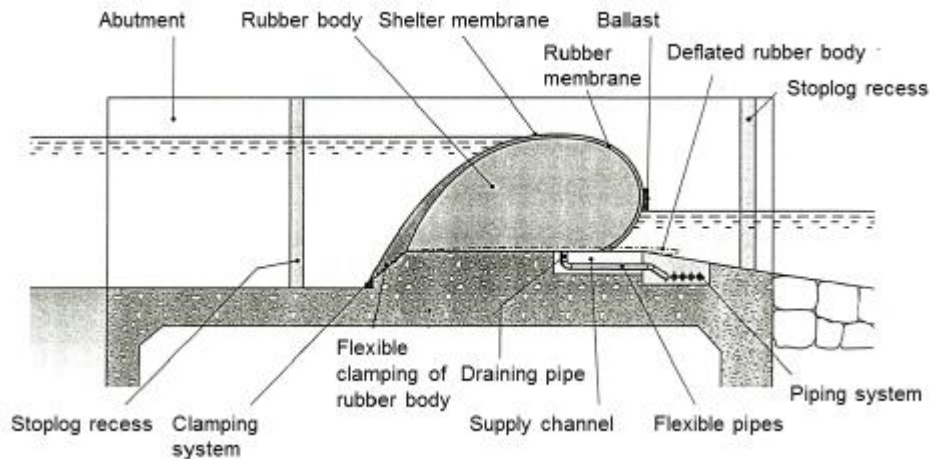
Gate height	Span width							
	0-10 m	10-20 m	20-30 m	30-40 m	40-50 m	50-100 m	>100 m	
0-1 m	45	25	19	13	5	18	7	13%
1-2 m	158	98	77	47	22	39	9	44%
2-3 m	65	73	88	60	10	20	1	31%
3-4 m	22	13	21	14	5	14	1	9%
4-6 m	7	9	3	5	3	2	0	3%
>6 m	1	5	1	0	0	7	0	1%
	29%	22%	20%	13%	4%	10%	2%	

**Figuur 31 - Reikwijdte toepassing opblaasbare constructies (excl. Japan) (Bron: Voies Navigables de France,2012)**

Uit PIANC (2018).

#### 4.2 Rubberen keringen

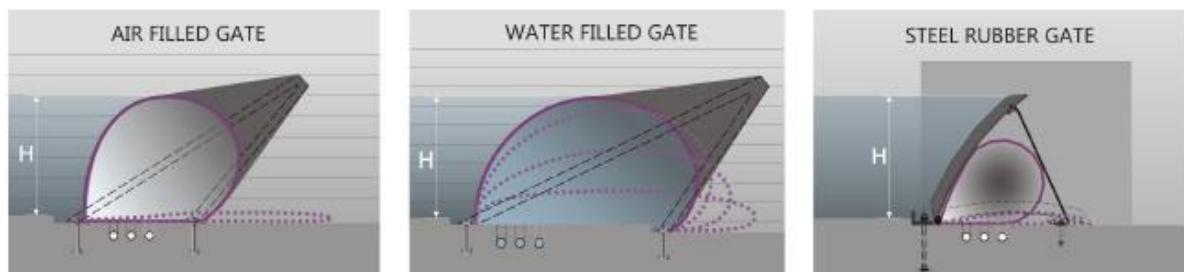
Een rubberen kering bestaat uit een meerlagige rubberen membraan . Deze is gevuld met water, lucht of een combinatie hiervan. In de meeste gevallen is de membraan met water gevuld. De membraan is vastgeklemd aan de het stuwlichaam in één of twee gefixeerde lijnen. De rubberen kering is verankerd bij de gevouwen randen met ankerbouten- en platen, zie figuur 32. Het bovenstroomse waterniveau wordt gecontroleerd met de verandering in druk in het rubberen lichaam. Bij het leeglopen zal de membraan uitvlakken op het stuwlichaam. Dit principe is ontwikkeld in Frankrijk door Jacques Mesnager in 1947. Meestal worden rubberen keringen toegepast als één doorlopende membraan per overspanning in tegenstelling tot meerdere individuele rubberen lichamen. Bij hoge debieten worden deflectoren en brekers toegepast op het rubberen lichaam als maatregelen tegen trillingen. In Nederland te Ramspol is in 2001 de grootste waterbouwkundige constructie met rubberen keringen ter wereld opgeleverd. Dit is echter een stormvloedkering, wat betekent dat de membraan alleen wordt opgeblazen in geval van een stormvloed.



**Figuur 32 - Typische doorsneden water gevulde rubberen kering(PIANC,2018)**

### 4.3 Staal-rubberen keringen (Obermeyer)

Een staal-rubberen kering, ook wel de Obermeyer uitvoering, bestaat uit buisvormig rubberen blaas (membraan) in combinatie met een scharnierende stalen paneel, zie figuur 33. De rubberen blaas is gesitueerd aan de benedenstroomse zijde en wordt opgeblazen en leeggelopen om het stalen paneel te verhogen respectievelijk te verlagen. Dit principe is ontwikkeld in de Verenigde Staten door Henry Obermeyer in 1988. In tegenstelling tot het enkel toepassen van rubberen keringen, wordt de rubberen blaas bijna altijd gevuld met lucht in plaats van water. Verder is de interne druk in het lichaam gemiddeld tot tien keer hoger dan bij een water-gevulde membraan . Het opblazen en leeggelopen gaat op dezelfde wijze als bij de rubberen kering. In de meeste gevallen worden meerdere stalen panelen ondersteund door één of meerdere rubberen blazen. Deze panelen zijn aan elkaar verbonden en kunnen op deze manier worden toegepast op grote rivierbreedten. De grootste Obermeyer stuw bevindt zich in de Namming rivier in China. De klep komt tot 8 meter hoog en de totale stuw heeft een breedte van 60 meter. Het stalen paneel wordt meestal uitgevoerd met verticale verstijvers om structurele stijfheid te garanderen. Binders (restraining straps) zijn vastgemaakt aan de bovenkant van het stalen paneel tot aan de vloer aan benedenstroomse kant om het volledig roteren van het stalen paneel te voorkomen. De rubberen blazen kunnen ook worden opgestapeld om zo tot een extra kerende hoogte te kunnen komen. Om trillingen te voorkomen moeten er ook overslagbrekers (nappe breakers) aan de bovenkant van het paneel worden toegepast bij een Obermeyer stuw.



**Figuur 33 - Typische doorsneden Luchtgevulde kering (l), watergevulde kering(m) en Obermeyer principe(r)**

### 4.4 Materialen en productie

De productie van een rubberen membraan gaat meestal gepaard met vulkanisatie uitrusting op grote schaal. Deze uitrusting bestaat uit een autoclaaf óf een verwarmde straalpers (heated beam press). Een complete membraan kan wel tot 20ton wegen.

Verder is tijd ook een belangrijke component, aangezien het produceren van het blad meerdere weken in beslag neemt. Membranen worden specifiek voor bepaalde projecten geproduceerd, kijkend naar sterkte, specificatie en dimensies. Er bestaan geen standaard rubberen membraan keringen.

#### **4.4.1 Rubberen membraan**

Voor de rubberen membraan wordt meestal geweven kunststof (woven fabric) gebruikt op een manier waarbij de membraan trekkracht op kan nemen in twee richtingen: langs de lengte en langs de breedte. De membraan bestaat uit stroken van enkel –of dubbel gelaagde met rubber bedekte kunststof. De breedte van de stroken varieert tussen de 1.2 en 2.0 meter. De stroken kunnen wel of niet uitgehard worden uitgevoerd, afhankelijk van de producent. Bij niet uitgeharde stroken zal de membraan ge vulkaniseerd moeten worden. In het geval dat de membraan bestaat uit uitgeharde stoken wordt de membraan alleen ge vulkaniseerd bij de verbindingen.

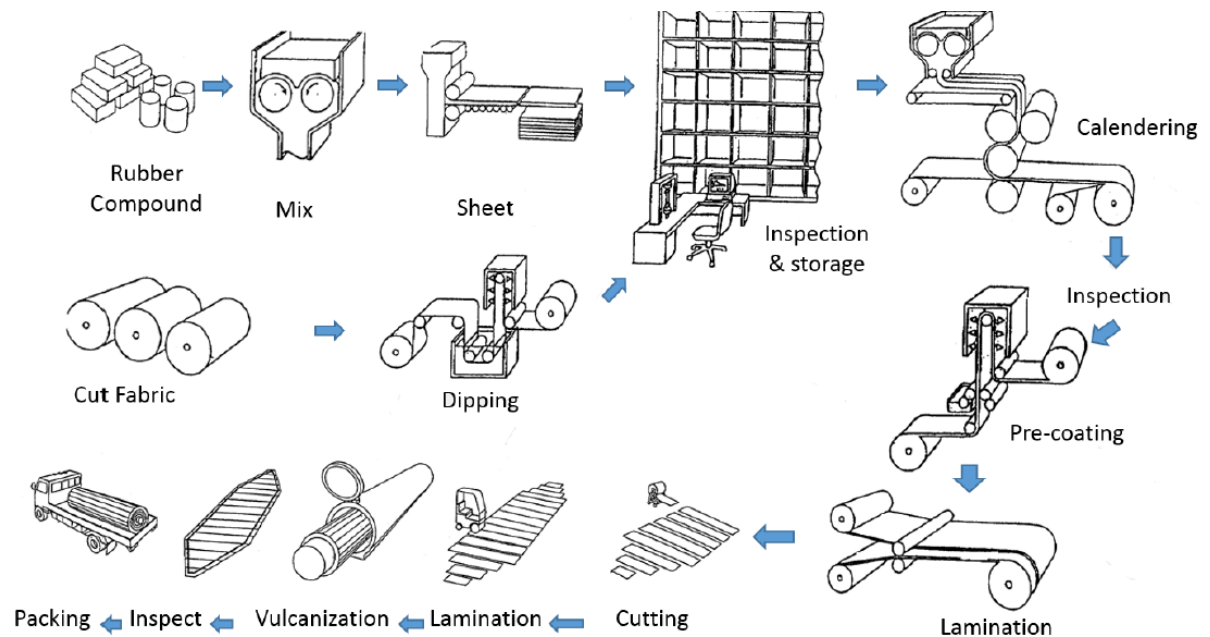
#### **4.4.2 Luchtblaas voor staal-rubberen kering**

De luchtblaas voor een staal-rubberen kering heeft een kussenvorm en wordt dichtgemaakt op drie of vier zijden. Het materiaal bestaat, net zoals voor de rubberen membraan, uit met rubberen bedekte geweven kunststof. De kunststof bestaat meestal uit een één-richtings bandenkoord (uni-directional tire cord). In dit geval moet het kunststof worden georganiseerd in een bepaald kruis patroon om sterkte in twee richtingen te garanderen.

#### **4.4.3 Productieproces**

Het productieproces bestaat uit twee hoofdcomponenten; de rollen van gewoven kunststof en de rubbersamenstelling. Eerst worden de met rubber bedekte gewoven kunststof stroken geproduceerd. Dit wordt gedaan door elke zijde van een éénlaagse kunststof te bekleden met de uitgeharde rubbersamenstelling. Dit proces heet kalenderen (calendaring). Daarna worden de met rubber bedekte lagen verbonden tot een enkele strook. Dit noemt men lamineren (lamination). In dit geval stapelt men de lagen op elkaar. Vervolgens worden de stroken in lengterichting met elkaar verbonden om te komen tot de uiteindelijke maat en vorm van de membraan. Ook dit wordt lamineren genoemd. De laatste stap is het vulkaniseren van de membraan met warmte en druk. Dit kan met behulp van een autoclaaf en of een verwarmde staalpers. Het productieproces is geïllustreerd in figuur 34.

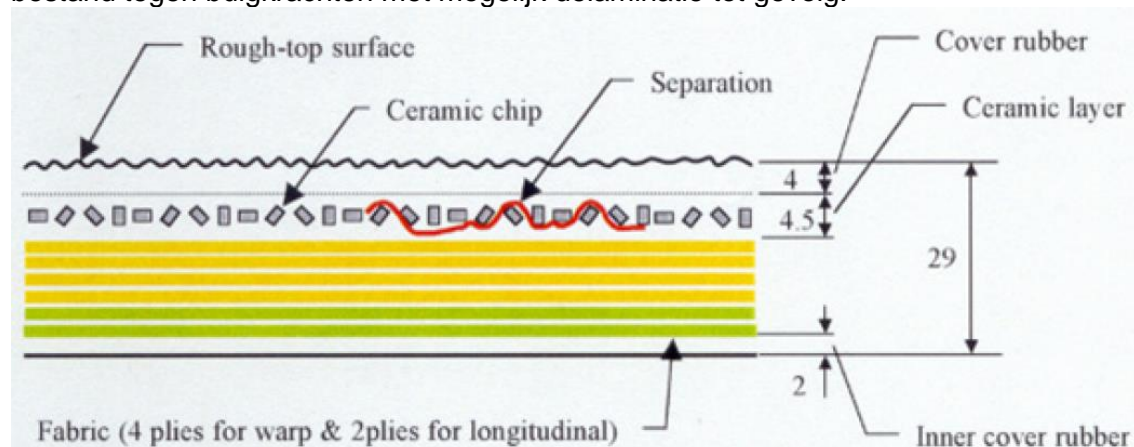




**Figuur 34 - Productieproces membraan voor niet-voor uitgeharde rubber (Sumitomo Electric,2018)**

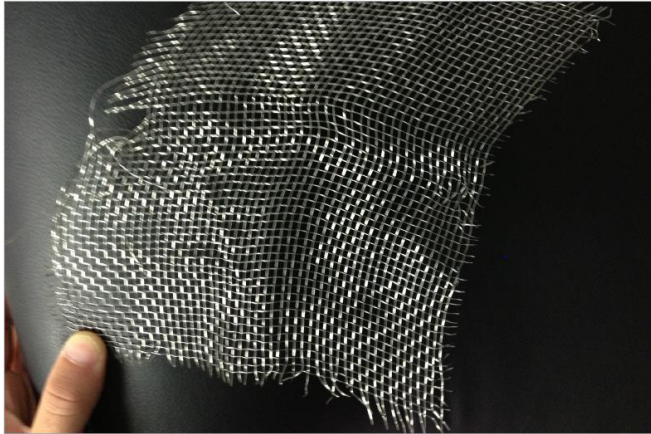
#### 4.4.4 Anti-vandalisme maatregelen

Vandalisme en puinschade worden vaak geassocieerd met de opblaasbare stuw. Het kan de lange termijn exploitatie en onderhoud in gevaar brengen van de rubberen keringen en staal-rubberen keringen. De membraan is het meest gevoelig bij het aanrakingspunt. Veel producenten hebben in het verleden maatregelen bedacht tegen vandalisme en puinschade. Eén van de maatregelen is het toevoegen van keramische chips op het membraanoppervlak, zie figuur 35. Dit is een beschermende laag die meestal wordt toegevoegd op plekken op het rubberen lichaam die zijn blootgesteld aan vandalisme. Het verhoogt de weerstand tegen snijdende objecten. Echter, is de keramische laag niet goed bestand tegen buigkrachten met mogelijk delaminatie tot gevolg.



**Figuur 35 - Doorsnede bridgestone rubberen kering met keramische chip (PIANC,2018)**

Een andere maatregel is het gebruik van roestvrijstalen gaas (zie figuur 36) als bescherming van het oppervlak van de membraan. Dit principe is bedacht door een Japanse fabrikant, Sumitomo Electric, in de jaren 80. Het gaas staat rek in beide richtingen in stelt. Het gaas wordt omsloten in rubber en wordt vervolgens gebonden aan de rubberen membraan. In tegenstelling tot de keramische chips kan het gaas beter tegen buigkrachten en is minder gevoelig voor delaminatie.



Figuur 36 - Monster van roestvrijstalen gaas (courtesy of Dryhof Ltd.)

#### 4.4.5 Transportatie

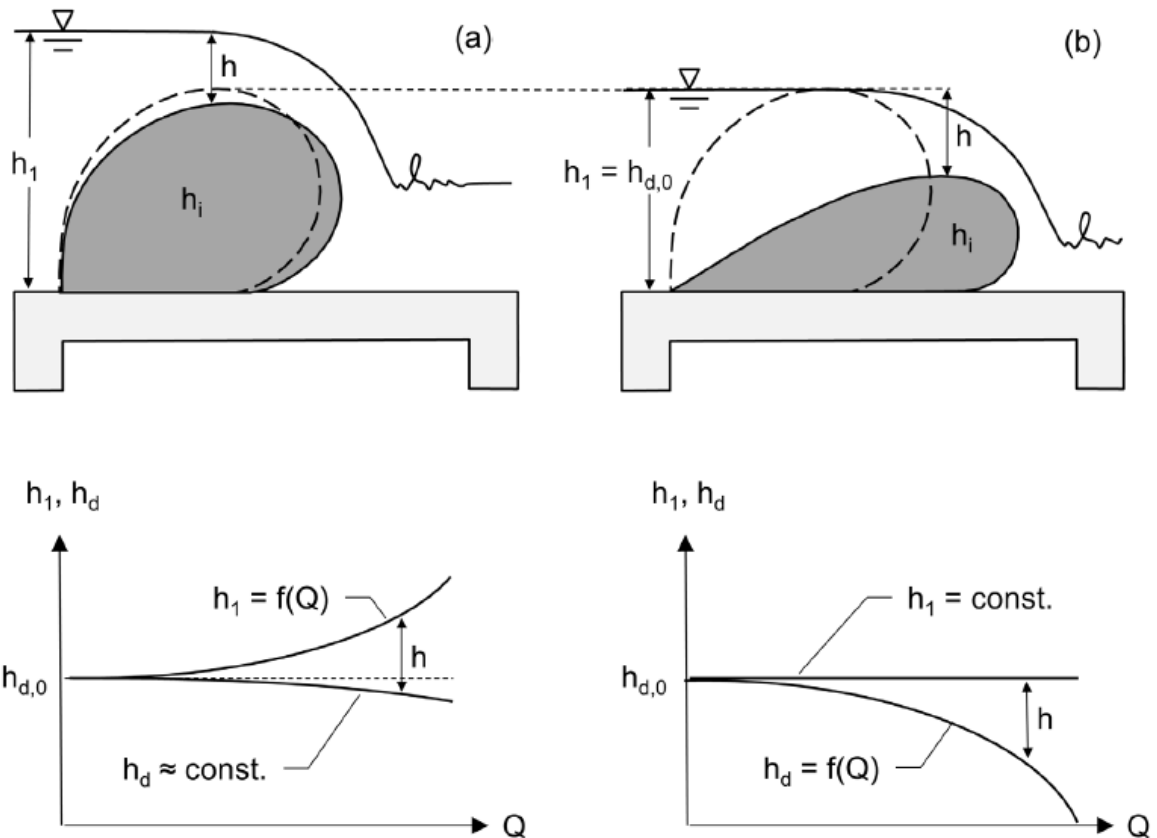
Verpakkings- en verzendingseisen van de membraan verschillen per type kering en de dimensies van het rubberen lichaam. Meestal wordt het opgerold in lengterichting op een buis of pijp om de overall dimensies te minimaliseren. De breedte van de membraan bepaalt de lengte van de vereiste container. Voor het faciliteren in laden en lossen worden meestal open-top containers gebruikt. Bij grote membranen is de open-top container te klein en moet de membraan speciaal worden verpakt om als stukgoed (general cargo) te worden vervoerd. Het is mogelijk om de membranen te vouwen om ze te laten passen in de containers, omdat de vouwen of kreukels vaak lang blijven bestaan in membraan, waardoor installatie moeilijker wordt.

Het gewicht van een rubberen blaas varieert van een paar honderd kilo tot meerdere tonnen. Het behandelen van de rubberen blaas kan gecompliceerd zijn en soms zijn speciale klemmen vereist.

#### 4.5 Functies en toepassingen van rubberen keringen

Er zijn twee soorten toepassingen van rubberen keringen te onderscheiden: rubberen keringen met een variabele bovenstroomse waterniveau (type 1) en rubberen keringen met een constante bovenstroomse waterniveau (type 2), zie figuur 37. Bij een variabele bovenstroomse waterniveau gaat het om functies als irrigatie, bodembescherming en watervoorzieningen. Als een bepaald waterniveau of overslag wordt bereikt, zal de kering volledig leeglopen op een volledige natte doorsnede te creëren voor overstromingen. Dit type stuw is te vergelijken met een vaste stuw, waar de kerende hoogte niet veel veranderd en het bovenstroomse waterniveau zal stijgen met een stijgende afvoer. Het handhaven van een constante bovenstroomse waterniveau gaat gepaard met functies als waterkracht en scheepvaart, zoals het geval voor de stuwen in de Maas. Bij een stijgende afvoer moet de rubberen kering zodanig leeglopen dat er een constante bovenstroomse waterlevel behaald kan worden. Als vulmedium wordt bij een type 1 rubberen kering vaak lucht gebruikt als vulmedium. Bij een type 2 rubberen is water vaak gebruikt als vulmedium.





**Figuur 37 - functies voor variabele (l) en constante (r) bovenstroomse waterniveau (PIANC,2018)**

## 4.6 Afvoercoëfficiënten

De afvoercoëfficiënt is de verhouding tussen de daadwerkelijke en theoretische afvoer. Bij traditionele stuw, zoals stuw met brede, scherpe of ronde kruinen, blijft de vorm van de stuw constant bij elke overstroomcondities. De relatie tussen afvoer en hoogte is hier makkelijk af te leiden. Bij rubberen keringen is deze relatie complexer. De vorm kan namelijk veranderen door verschil in interne druk, overstrooming en benedenstroomse waterniveau. Er bestaat meerdere literatuur die formules beschrijven om de afvoer te bepalen, echter komen ze meestal op hetzelfde neer. In Duitsland wordt de Poleni vergelijking gebruikt:

$$Q = \frac{2}{3} * C_q * B * \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}}$$

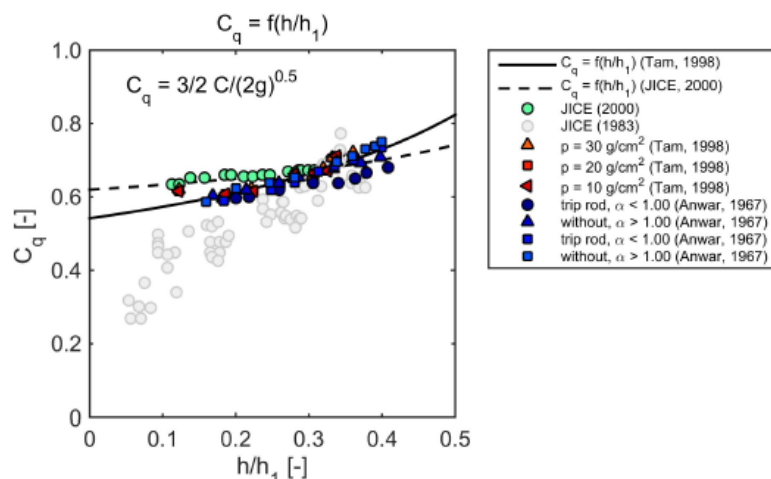
Met:

Q [m <sup>3</sup> /s]	=	afvoer
g [m/s <sup>2</sup> ]	=	gravitatieconstante
C <sub>q</sub> [-]	=	afvoercoëfficiënt
h [m]	=	bovenstroomse hoogte boven kruin kering
B [m]	=	overspanningsbreedte

### 4.6.1 Rubberen keringen

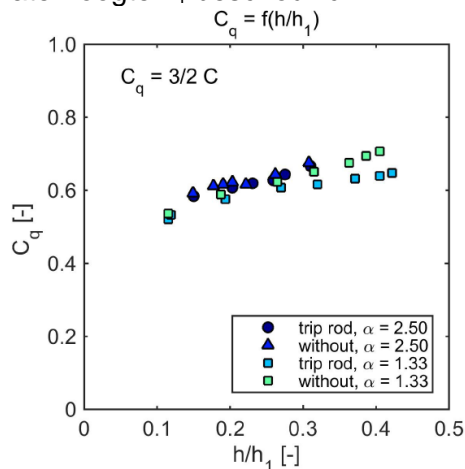
Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar de afvoercoëfficiënt van lucht gevulde rubberen keringen. Een aantal onderzoeken, waaronder de empirisch gevonden formules uit de Japanse standaard, zijn met elkaar vergeleken. In figuur 38 zijn de afvoercoëfficiënten als functie van de verhouding bovenstroomse waterdiepte h<sub>1</sub> en de waterhoogte h over de stuw. Hierbij is een variabele bovenstroomse waterhoogte

beschouwd. De resultaten uit de verschillende onderzoeken komen goed met elkaar overeen.



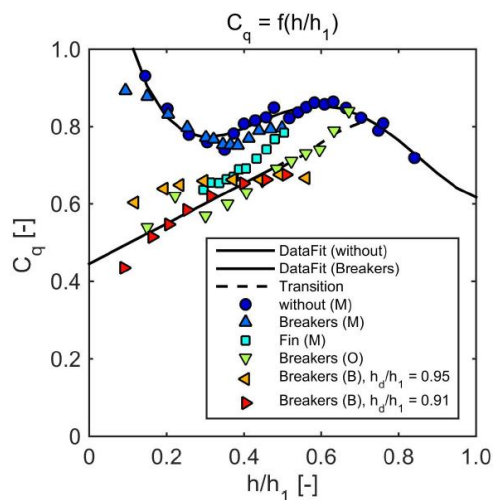
**Figuur 38 - vergelijking afvoercoëfficiënten voor lucht gevulde rubberen keringen uit onderzoeken (JICE(2000b),JICE(1983a),Tam(1998a) en Anwar(1967)) met een variabele bovenstroomse waterniveau [PIANC,2018]**

Ook zijn de afvoer coëfficiënten bepaald voor water gevulde rubberen keringen door Anwar (1967), zie figuur 39. Uit de onderzoeken bleek dat een grotere interne druk coëfficiënt  $\alpha$  gepaard gaat met hogere  $C_q$  waarden. Dit heeft te maken met het feit dat bij lagere interne drukken de rubberen kering een bredere kruin heeft, wat resulteert in een lagere afvoercoëfficiënt. Tijdens de experimenten is een variabele bovenstroomse waterhoogte  $h_1$  beschouwd.



**Figuur 39 - Vergelijking afvoercoëfficiënten voor water gevulde rubberen keringen uit onderzoeken van Anwar (1967) met een variabele bovenstroomse waterniveau (PIANC, 2018)**

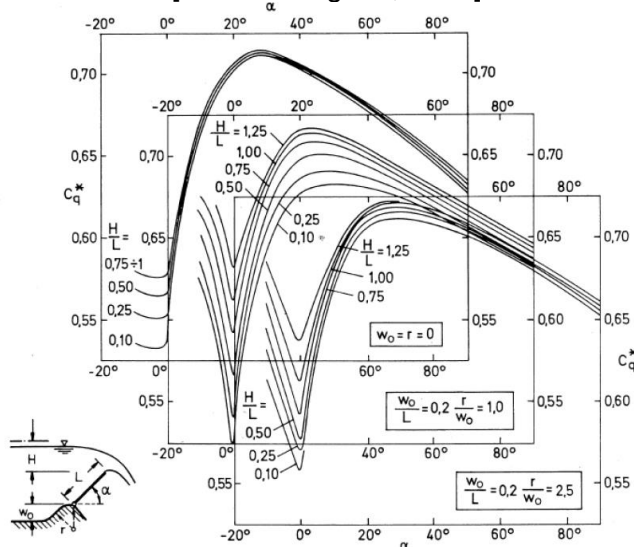
Meerdere experimenten zijn uitgevoerd voor afvoercoëfficiënten bij een constant bovenstroomse waterniveau, zie figuur 40. Zo is er voor de stuw in Beihingen in 2014 een schaalmodel gemaakt (ratio 1:30) met een rij brekers en verschillende  $h_d/h_1$  ratio's [BAW,2014]. Hieruit blijkt dat de afvoercoëfficiënt groter wordt bij een grotere mate van overflow (grotere  $h_d/h_1$  waarde). Voor de stuw in Marklendorf zijn in 2006 ook schaalmodellen gemaakt (ratio:15) [Gebhardt, 2006]. In totaal zijn er drie configuraties bekeken; zonder maatregelen tegen vibraties, met een vin en met een enkele rij brekers. Hieruit bleek dat een vin zorgt voor een stabiele overslagscheiding en het voorkomt een negatieve druk op de rubberen kering, wat veel invloed heeft op de afvoercoëfficiënt. In 2013 is met behulp van een numeriek model OpenFOAM testen gedaan met een enkele rij brekers [Rudolph,2013]. Deze resultaten komen goed overeen met de testen die zijn gedaan voor de stuw in Beihingen door het laboratorium van BAW.



**Figuur 40 - Vergelijking afvoercoëfficiënten voor water gevulde rubberen keringen met een constant bovenstrooms waterniveau (PIANC, 2018)**

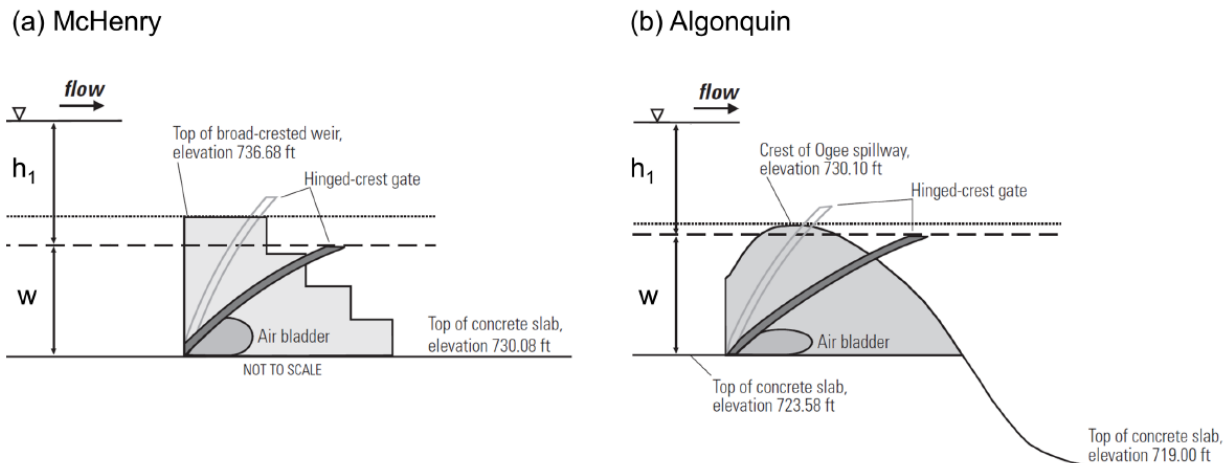
### 4.6.2 Staal-rubberen keringen

Voor staal-rubberen keringen is er relatief weinig experimentele data beschikbaar met betrekking tot de hydraulische prestaties. Er kan worden gezegd dat de hydraulische prestaties vergelijkbaar zijn met een klepstuw. De hoofd geometrische onderdelen die de hydraulische prestaties beïnvloeden zijn nagenoeg hetzelfde als voor de klepstuw [Naudascher, 1992]. Figuur 41 presenteert de afvoercoëfficiënt voor een klep met een recht oppervlak, verschillende vloerhoogten en keringslengten als functie van de hoek met de horizontaal [Castro-Delgado, 1983].



**Figuur 41 - Afvoercoëfficiënt klepstuw (PIANC,2018)**

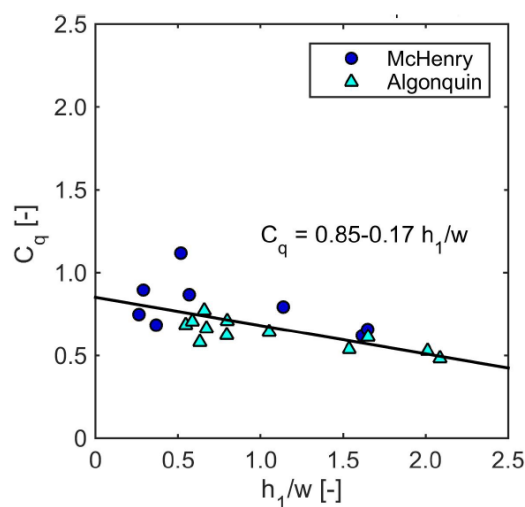
Zoals gezegd is er weinig data beschikbaar over de afvoercoëfficiënt van specifiek staal-rubberen keringen. In de Verenigde Staten zijn “Control-Structure Ratings” uitgevoerd op staal-rubberen keringen in de Fox rivier bij McHenry en Algonquin [Straub et al, 2009]. Dit zijn keringen met als recreatieve en overstrooming controlerende functies. De ratings zijn bepaald door het meten van het waterniveau bovenstrooms (headwater) en benedenstrooms (tailwater) samen met de stroming bij een breed bereik van stromingen bij verschillende klepopeningen. De twee staal-rubberen keringen hebben nagenoeg dezelfde dimensies qua breedte en kerende hoogte (ongeveer 15 meter breed en 2 meter hoog). De staal-rubberen kering bij McHenry is gecombineerd met een sluisdeur en een stuw met brede kruin (broad-crested weir). De staal-rubberen kering bij Algonquin is gecombineerd met een ogee overlaat. Hun doorsneden zijn geïllustreerd in figuur 42.



**Figuur 42 - Schematische doorsneden staal-rubberen deuren bij McHenry en Algonquin (Straub et al., 2009)**

Er zijn in totaal zestien metingen gebruikt voor de kering in McHenry, variërend tussen afvoeren van 10 tot 57 m<sup>3</sup>/s. Voor de kering in Algonquin zijn twaalf metingen gebruikt, variërend tussen afvoeren van 20 tot 51 m<sup>3</sup>/s. De afvoercoëfficiënten zijn bepaald met behulp van de Poleni vergelijking. Uit de resultaten blijkt een lineair verband tussen de afvoercoëfficiënt en het dimensieloze overstromingsdiepte  $h_1/w$  (zie figuur 43). Uit de metingen is een empirisch gevonden formule bepaald:

$$C_q = 0.85 - 0.17 \frac{h_1}{w}$$

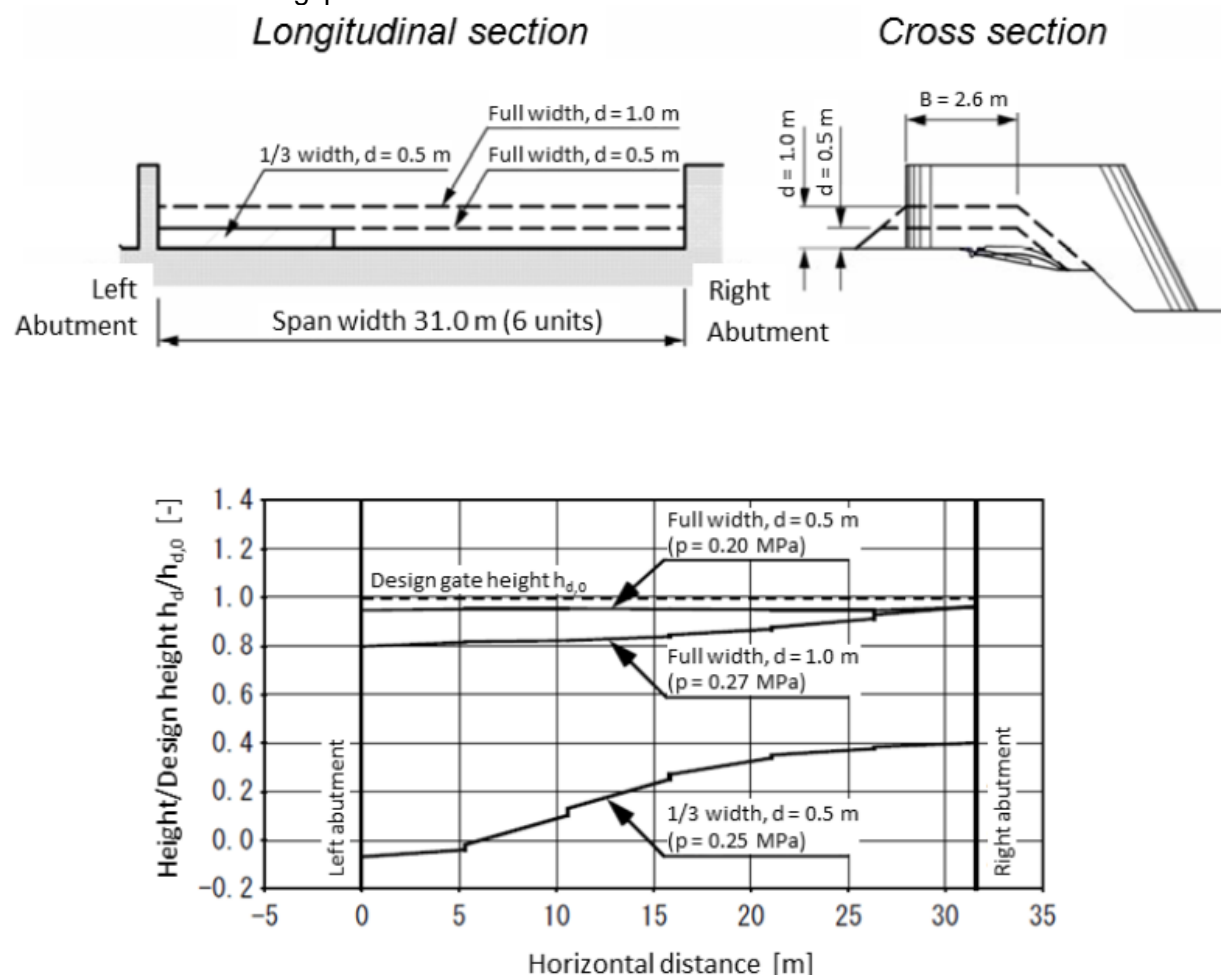


**Figuur 43 - Afvoercoëfficiënt voor volkomen overlaat over staal-rubberen keringen gebaseerd op de metingen bij McHenry en Algonquin (Straub et al., 2009)**

## 4.7 Sedimentatie

Sedimentatie is een belangrijk aspect in het ontwerpen van opblaasbare keringen. Als de stuw voor een lange periode is opgeblazen zal een sediment laag een extra (horizontale) kracht uitoefenen op het bovenstroomse oppervlak van de kering. Deformatie van de doorsnede van de membraan kan worden tegengehouden door extra interne drukken. Ook is het mogelijk dat er sediment op de bovenkant van de membraan terecht kan komen. Dit gebeurt meestal in rivieren met een hoge sedimentatiegraad. Sedimentophoping achter de stuw kan normale operatie beïnvloeden [Zhang et al, 2002]. Dit is het geval als er sediment ophoopt op een leeggeblazen stuw. Dit kan het opblaasproces beïnvloeden en het maakt het moeilijker om de rubberen kering tot de gewenste hoogte te krijgen. Het sedimentprobleem kan worden opgelost door periodiek het sediment handmatig of

mechanisch te verwijderen. Een andere oplossing is door het sediment benedenstrooms weg te spoelen door middel van het verlagen van de kering. Uit het onderzoek van Zhang et al. (2002) is gebleken dat de rubberen kering tot de gewenste hoogte kan worden opgeblazen als de diepte van het sediment niet groter is dan 20% van de maximale hoogte van de stuw. Voor staal-rubberen keringen zijn ook experimenten uitgevoerd door JICE (2007) met betrekking tot sedimentatie, zie figuur 8. Drie belastingsituaties zijn beschouwd: een zandlaag van 0.5 meter over één derde van de overspanning, een zandlaag van 0.5 meter over de gehele overspanning en een zandlaag van 1.0 meter over de gehele overspanning. Uit de resultaten bleek dat een gelijk verdeelde belasting over de gehele overspanning bijna compleet kan worden verwijderd en de ontwerphoogte bijna bereikt kan worden over de gehele overspanning (ratio 0.95). Hierbij is de interne druk 0.20 MPa. Bij een verdubbeling van de gelijk verdeelde belasting is de ratio tussen ontwerphoogte en werkelijke hoogte significant kleiner (0.80-0.95) ook bijna bereikt (80-95%). De interne druk is hierbij 0.27 MPa. Bij een ongelijk verdeelde belasting is er een vergelijkbare druk (0.25 MPa), maar zakt de ratio tussen ontwerphoogte en werkelijke hoogte drastisch (0.40). Uit de testen is geconcludeerd dat sediment kan worden verwijderd als de additionele belasting gelijk of kleiner is dan de interne ontwerpdruk. Verder blijkt bij overflow een kleinere interne ontwerpdruk vereist, omdat het sediment eerder losraakt en wegspoelt.



Figuur 44 Resultaten experiment sedimentatie op bestaande staal-rubberen kering (JICE,2007c)

#### 4.8 Vandalisme en terrorisme

In sectie 4.4.4 zijn de anti-vandalisme maatregelen beschreven. Er is veel onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van rubberen keringen en staal-rubberen keringen tegen

vandalisme en terrorisme. Ook is er onderzoek gedaan naar calamiteiten voor bestaande opblaasbare constructies wereldwijd. Tam (1998) zegt dat het aantal calamiteiten met opblaasbare constructies in Hong Kong relatief klein is. In Duitsland zijn een aantal calamiteiten bekend. Kamuf (2007) rapporteerde dat er in een water-gevulde membraan in de Regnitz rivier een 15 mm lange messteek geconstateerd is. Dit resulteerde in kleine lekkages van ongeveer 2 m<sup>3</sup>/dag. Echter kwamen de functies van het systeem niet in gevaar. In de Verenigde Staten is een rubberen kering getroffen door kogels van een geweer [Tuthill, 2001]. Door een lage interne druk was de resulterende luchtverlies in de membraan dermate klein dat het probleem snel kon worden verholpen. Meer calamiteiten staan beschreven in het PIANC (2018) rapport.

Er zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd door producenten van de (staal)rubberen keringen. Zo bepaalde Bridgestone Corporation dat, zonder toevoeging van anti-vandalisme maatregelen, een geweer binnen een bereik van 8 meter serieuze schade aan kan richten. Ook BAW, een onderzoeks- en ontwikkelingsteam in Duitsland, heeft een aantal testen uitgevoerd met betrekking tot de kogelweerstand van een membraan. Hieruit bleek dat de kracht van de samples voldoende bestand was tegen luchtgeweren. Uit doordringbaarheidstesten bleek dat de maximale lekkage de operabiliteit nauwelijks beïnvloed. Ook zijn er doorboorde monsters van het membraan getest op treksterkte. Er werd een maximale reductie in treksterkte gevonden van 40%. Echter, de invloed van een kogelgat in testcondities is veel hoger door de beperkte breedte van de sample [Maisner et al, 2012].

Op basis van de verschillende onderzoeken en testen kan worden geconcludeerd dat een rubberen kering niet zal barsten als een ballon en de kogelgaten kunnen makkelijk worden hersteld. Een automatische voorzieningssysteem inclusief druksensoren zullen verlagingen van de interne druk detecteren en onder een bepaald niveau zal een luchtcompressor of waterpomp de membraan weer vullen tot de gewenste druk weer is behaald [PIANC,2018]. Verder zijn er voor staal-rubberen keringen nog geen calamiteiten ontdekt of gerapporteerd. In theorie zou, door de hogere interne druk, de membraan sneller leeg kunnen lopen in tegenstelling tot de rubberen keringen.

## 4.9 Milieueffecten

Het onderzoeken van de milieueffecten van een constructie wordt meestal gedaan met behulp van een Life Cycle Assessment (LCA). Hierbij wordt de complete levenscyclus van een product van extractie van grondstoffen tot productie en gebruik in de eindfase. Om milieueffecten te kwantificeren en te vergelijken is het nodig om een functionele eenheid te definiëren. Verder moet de milieu impact worden gekwantificeerd. Volgens Guinee et al. (2001) zijn er 16 categorieën die de milieu-impact van een product beschrijven. Eén van deze categorieën is de Global warming potential (GWP). De GWP is bepaald met de volgende formule:

$$GWP_{ref} = \frac{G_{GT}}{g} GWP_{GTM} * \frac{LT_{REF}}{LT_{GT}}$$

Met:

$GWP_{REF}[kg CO_{2-eq}] = GWP$  van referentie deur

$G_{GT}[kN] =$  gewicht van deurtype

$GWP_{GTM}[kg \frac{CO_{2-eq}}{kg}] = GWP$  van materiaal deurtype

$LT_{ref}[years] =$  levensduur referentie deur

$LT_{GT}[years] =$  levensduur deurtype

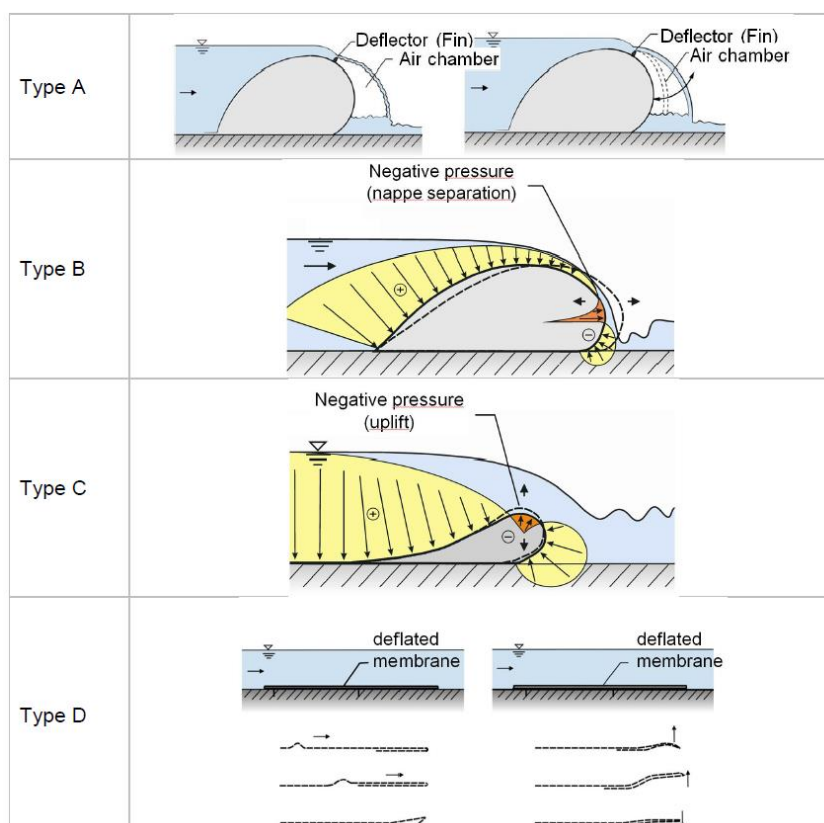
Uit onderzoek is bepaald dat de rubberen water gevulde kering de laagste  $GWP_{ref}$  heeft, in vergelijking met een klepkering en segmentkering [Erbisti,2014]. Hierbij heeft de referentiekering een breedte van 25 meter, een hoogte van 2.5 meter en een referentie

levensduur van 30 jaar. Het grootste voordeel van een opblaasbare kering is die lichte structuur, waarbij dit voordeel groter wordt bij een groter wordende overspanning.

#### 4.10 Trillingen

Rubberen keringen veranderen hun geometrie, afhankelijk van de drukverdelingen langs het oppervlak. Hierdoor kan het optreden van trillingen zeer verschillend zijn in hun karakteristiek. Lucht gevulde rubberen keringen hebben over het algemeen te maken met meer trillingen dan water gevulde rubberen keringen [Muramatsu en Ogihare, 1985]. Gebhardt (2010) onderscheidt vier verschillende type trillingen, zie ook figuur 45:

- Type A: Ontstaat bij een rubberen kering met een deflector. Dit is vooral een bekend fenomeen bij klepdeuren.
- Type B: Trillingen die ontstaan door fluctuerende drukken. Er is veel onderzoek gedaan naar dit type trillingen. Chanson (1997b) geeft een goede samenvatting van dit type en bijbehorend advies voor veilige operatie. Dit type trillingen ontstaat door instabiele overslagscheiding aan het benedenstroomse gedeelte van de kering. Drukverschillen die hierdoor ontstaan zorgen voor trillingen en grote vervormingen.
- Type C: Trillingen die ontstaan door omhoog werkende krachten.
- Type D: Trillingen die ontstaan bij rubberen keringen in volledig leeggeblazen conditie.



Figuur 45 - Verschillende type trillingen op rubberen keringen (PIANC,2018)



## A5. Referentieprojecten

Een aantal case studies die relevant zijn voor het onderzoek zijn behandeld in de literatuurstudie. Voor de rubberen kering gaat het om:

- Rubberen kering te Ramspol in Nederland als stormvloedkering

Voor de staal-rubberen kering zijn twee projecten behandeld:

- Staal-rubberen kering bij Villers Devant Mouzon in de Maas in Frankrijk
- Staal-rubberen kering bij Auxonne in Frankrijk

Hierbij gaat het om belangrijke ontwerp- en uitvoeringsaspecten en de “lesson’s learned”.

### 5.1 Ramspol stormvloedkering

Tussen Kampereiland en Noordoostpolder zijn de kanalen Ramsdiep en Ramsgeul gelokaliseerd. In de kanalen zijn in totaal drie opblaasbare constructies gebouwd door BAM (voormalig HBW), elk 60 meter breed. De kerende hoogte is tot 8.5 meter. De kering fungeert als een stormvloedkering en is gebouwd om de IJssel delta te beschermen tegen hoogwater uit het IJsselmeer.



Er zijn periodieke onderhoudssluitingen waarbij de binnenkant van het rubberen lichaam toegankelijk is voor inspectie en mogelijke reparaties. De volledige operatie van de rubberen kering gaat automatisch. Het rubberen lichaam is binnen één uur volledig opgeblazen vooruitlopend op een stormvloed. Sinds de bouw is de stormvloedkering ongeveer twintig keer gesloten voor een stormvloed.

De rubberen keringen zijn gevuld met water (2/3) en lucht (1/3). Deze verdeling verhoogt de stabiliteit en de vorm. Echter, dit is alleen mogelijk als de kans op het vriezen van water verwaarloosbaar klein is. De rubberen keringen worden opgeblazen door het pompen van een bepaald volume van lucht in het rubberen lichaam. Water wordt bovenstrooms binnengelaten en deze opening wordt behouden tijdens een stormvloed. Tijdens het leeglopen wordt de lucht en water tegelijkertijd uit het rubberen lichaam gepompt. Een ander nadeel van de combinatie lucht en water als vulmedium is het ontstaan van golven in het rubberen lichaam. Hierdoor ontstaan er extra dynamische krachten en er is besloten om ongeveer 30 procent van de statische belastingen toe te voegen in het ontwerpproces. Na constructie is er schade op meerdere locaties gevonden in het rubberen lichaam. Dit was het gevolg van wijzigingen op het laatste moment op het rolsysteem voor het opslaan van het rubberen lichaam in de bodemuitsparing. Door deze wijzigingen ontstonden er scherpe randen op plekken waar opslag van het rubberen lichaam niet was verwacht. De schade varieerde van schade aan de bedekking tot aan schade aan de kunststof die sterkte in lengterichting biedt. Er zijn enkele gevallen waarbij schade aan de kunststof in warp richting is geconstateerd. Alle schades zijn geïdentificeerd en gerepareerd met behulp van een handleiding, gemaakt door Bridgestone. Doordat het rubberen lichaam zich ongeveer 99 procent van de tijd in leeggelopen positie bevindt is het risico op schade door puin, UV en andere atmosferische invloeden substantieel kleiner dan als de kering gebruikt wordt als bijvoorbeeld een stuw.

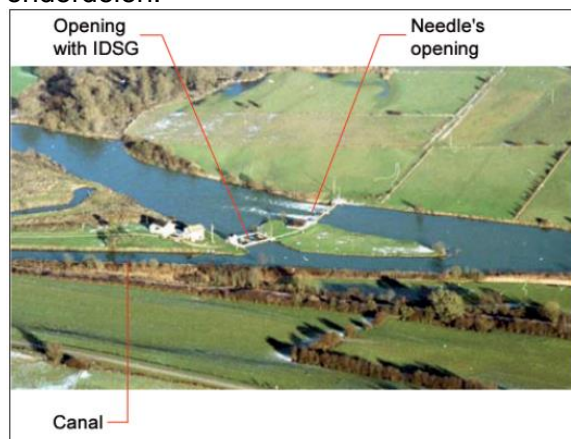


Het vouwen en buigen van het rubberen materiaal moet grondig bestudeerd worden tijdens het ontwerp. Het is nuttig om te weten dat vouwen niet toegestaan zijn op locaties waar die hoogste spanningen optreden. In het geval van Ramspol wordt er regelmatig gecontroleerd op vouwen door duikers. Indien dit het geval is, wordt het rubberen lichaam gedeeltelijk opgeblazen en leeggelopen om tot de gewenste positie te komen. Uit PIANC (2018).

## 5.2 Villers Devant Mouzon

In het kader van het testen van de technologie van staal-rubberen deuren, is in 2005 een “real life” experiment uitgevoerd door het Franse VNF (Voies Navigables de France) ter plaatse van Villers Devant Mouzon in de Maas. Op deze locatie is al twintig jaar eerder een experiment met een opblaasbare stuw uitgevoerd. De betonnen constructie van deze stuw bestaat nog steeds. Voor het nieuwe experiment is gebruik gemaakt van dezelfde constructie.

De bestaande stuw is een “needle dam”, vergelijkbaar met de Poiréestuven in het Nederlandse gedeelte van de Maas. De stuw is verdeeld in twee delen en worden gescheiden door een kunstmatige eiland. Aan de rechterkant van de stuw zijn twee openingen, elk 17 meter breed. Aan de linkerkant is één opening van 17 meter breed. De experimenten zijn uitgevoerd aan de linkerkant, zie figuur 46. De weg naar de stuw heeft ene kleine brug met een maximale toelaatbare belasting van 3,5 ton. Dit zou een groot probleem kunnen vormen als de bouw van de stuw gepaard zou gaan met zware onderdelen.



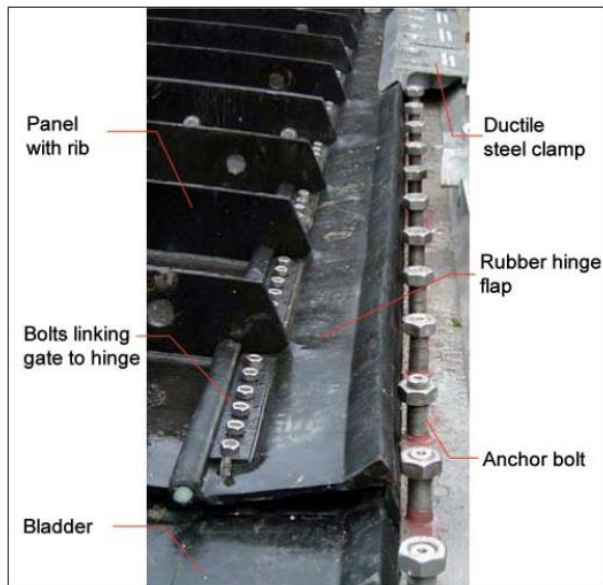
**Figuur 46 - Testomgeving, IDSG = Staal-rubberen kering (Pitsch,2007)**

De staal-rubberen kering bestaat uit meerdere modules. De klep bestaat uit een stalen paneel en is verstijfd met verticale ribben. De functies van de klep zijn:

- Het lineair overbrengen van de waterdruk naar de rubberen blazen, waarbij trillingen worden voorkomen en het staat fijne regulatie van de bovenstroomse waterstanden toe.
- Het paneel overhangt de rubberen blaas in elke positie, waardoor het de blaas beschermt tegen sediment, puin, UV en vandalisme.

Elke module is 1.5 tot 6 meter breed en bestaat uit de volgende onderdelen, zie figuur 47:

- Een luchtgevulde blaas van producent Obermeyer Hydro Inc, bestaande uit vezel-versterkte rubber.
- Een stalen paneel met verticale ribben
- Een rubberen scharnierende lap, geschroefd aan de stalen paneel
- Buigzame ijzeren klemmen om de module vast te maken aan de ankerschroeven in de fundatie
- Benedenstroomse binders om het stalen paneel niet te laten kantelen



**Figuur 47 - Ankerlijn (Pitch, 2007)**

Waterdichtheid is verzekerd door versterkte rubberen banden te verbinden aan de aanliggende stalen panelen. De stuw kan heel breed worden uitgevoerd, sinds pijlers niet nodig zijn en daardoor is een onderhoudsbrug niet nodig. De modules kunnen ook onafhankelijk van elkaar bewegen, zodat een precieze waterstandregulatie mogelijk is. Lucht wordt geleverd door een compressor, via een tank en elektrische kleppen. Een automatische controle systeem is aanwezig. De staal-rubberen kering bestaat uit drie modules van elk 5.87 meter breed, met een totale breedte van 17.69 meter. De hoogte van de stuw is 2.00 meter. De totale kosten van de stuw waren €478280 incl. VAT.

De fasen tijdens constructie zijn:

- Sluiting en ontwatering van het werkgebied: bovenstroomse sluiting met behulp van de bestaande "needle dam", benedenstroomse sluiting met behulp van een aardedijk.
- Aanpassing van de bestaande betonnen vloer om deze aan te passen naar de toekomstige stuw en plaatsing van roestvrij stalen luchtleidingen
- Plaatsing van polyethyleen platen op de aanhechtingen als gladde contactvlakken voor de zijdelingse afdichtingen
- Afdichting van 59 ankerbouten in de betonnen vloer
- Plaatsen van de drie blazen
- Vastschroeven van de drie delen van de stalen paneel
- Vastschroeven van de rubberen scharnierklep aan de stalen panelen
- Plaatsen van de stalen panelen bovenop de blazen
- Het monteren van de stalen paneel en blaas aan de vloer met behulp van 29 buigzame ijzeren klemmen
- Plaatsen van benedenstroomse en bovenstroomse waterstandmeters
- Installatie van elektrische en elektronische apparatuur in het controlehuis

Het doel van het experiment is:

- Het begrijpen van de verschillende aspecten van ontwerpen en bouwen van dit soort stuwen
- Het ervaren en analyseren van het mechanische en hydraulische gedrag
- Het meten van het regelcapaciteit voor scheepvaartdoeleinden
- Het bestuderen van de impact op de omgeving

- Het bestuderen van de capaciteit voor standaardisatie
- Het analyseren en schatten van operatie- en onderhoudskosten
- Het schatten van de levensduur

De aannemer had de opdracht om over een periode van drie jaar na bouw de stuw en haar functioneren te analyseren. Dit zou gepaard gaan met meerdere verschillende gesimuleerde faalsituaties. Uiteindelijk zou er antwoord gegeven kunnen worden op de doelen zoals hierboven beschreven. Echter, deze informatie is nergens beschikbaar. Wel zijn er conclusies gevonden over het gedrag van de stuw na één jaar. Er zijn in totaal twee problemen voorgekomen. Beide problemen hadden te maken met het falen van de waterstandmeters en niet met de stuw zelf.

Verdere conclusies uit het experiment zijn dat de staal-rubberen kering, in vergelijking met klepstuwen en dakstuwen, voordelen hebben zoals de simpliciteit van de civiele werken en dat er geen mechanische onderdelen nodig zijn, sinds de bewegende onderdelen uit rubber bestaan. Qua constructiekosten blijkt het niet voordeliger te zijn. Echter, de vergelijking kan als eenzijdig worden beschouwd (type contract, vertaalkosten etc.). Verder zijn de kosten voor het rubber niet gecompenseerd door de simpele civiele werken, aangezien het in dit geval gaat om een stuw met een relatief korte breedte. Verder blijken de operationele kosten veel lager dan bij andere stuwtypen, zelfs als de rubberen blazen na twintig jaar moeten worden vervangen. Ook dit moet nog worden bevestigd door de technische evaluatie na drie jaar waar helaas geen gegevens van beschikbaar zijn. Uit Poligot-Pitch (2007).

### 5.3 Auxonne

De Auxonne stuw is gebouwd in 1840 in de Franse regio Bourgogne-Franche-Comté voor scheepvaart doeleinden. De stuw was toen uitgevoerd als een "needle dam". Aangezien het Franse VNF erg tevreden was met de uitkomsten uit het experiment in Villers Demant Mouzon, is er besloten de stuw te vervangen met staal-rubberen keringen, zie figuur 48. De constructie- en installatieperiode was van 2009 tot 2011. De stuw bestaat uit in totaal vier overspanningen met een totale lengte van 220 meter. Elke overspanning bestaat uit acht of negen onafhankelijke blazen en stalen panelen. De kerende hoogte van de stuw is 1.40 meter.



**Figuur 48 - Auxonne stuw (PIANC, 208)**

Het ontwerp van de stuw ging gepaard met specifieke eisen. Voor elke rubberen blaas is een stalen paneel. De stalen panelen zijn aan elkaar verbonden met kabels voor veiligheid. Het doel van dit ontwerp is dat als een rubberen blaas is beschadigd, de stalen paneel kan worden opgevangen door zijn "buren" zonder dat dit effect heeft op de waterstandregulatie.

Er heeft zich wel een calamiteit voorgedaan met dit ontwerp. Een opblaaspijp in de stuw was per ongeluk gesloten tijdens constructie. Hierdoor kon de rubberen blaas niet meer worden opgeblazen. Door kleine lekkages liep de blaas langzaam leeg. Twee hoekmeters zijn geïnstalleerd per overspanning om de hoogte van de rubberen blazen te meten. De hoogte is bepaald door het gemiddelde van de twee waarden. Bij te grote afwijkingen zal de automatische modus worden gestopt. Echter, de operators realiseerden zich niet dat er een probleem was, omdat de stalen paneel onder de leeglopende rubberen blaas omhoog werd gehouden door de kabels. Het probleem werd genegeerd en uiteindelijk brak de kabel na enkele dagen door vermoeiing.

Over het algemeen wordt de bouw van de staal-rubberen kering als positief beschouwd. De stuwoperatoren zijn tevreden met de nieuwe stuw.

Uit PIANC (2018).

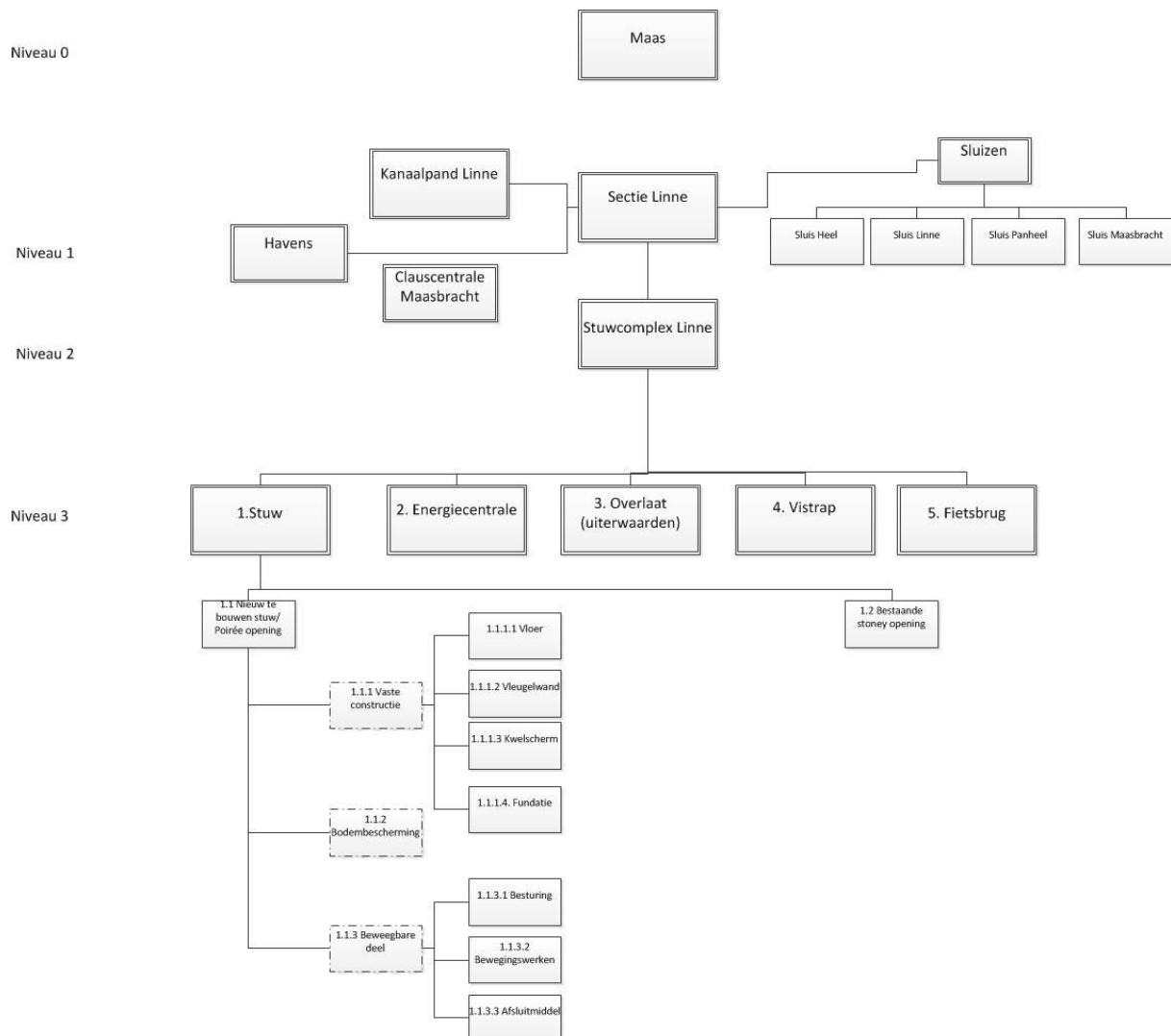


# B Eisenspecificatie

Dit document bevat de eisenspecificatie voor de nieuw te bouwen stuw in Linne. Hiervoor zijn drie verschillende schaalniveaus gebruikt:

- 1) Sectie Linne (Niveau 1)
- 2) Stuwcomplex Linne (Niveau 2)
- 3) Stuw Linne (Niveau 3)

In de objectenboom in Figuur 49 vindt men de verschillende onderdelen die gepaard gaan met de schaalniveaus.



Figuur 49 - Objectenboom stuw Linne



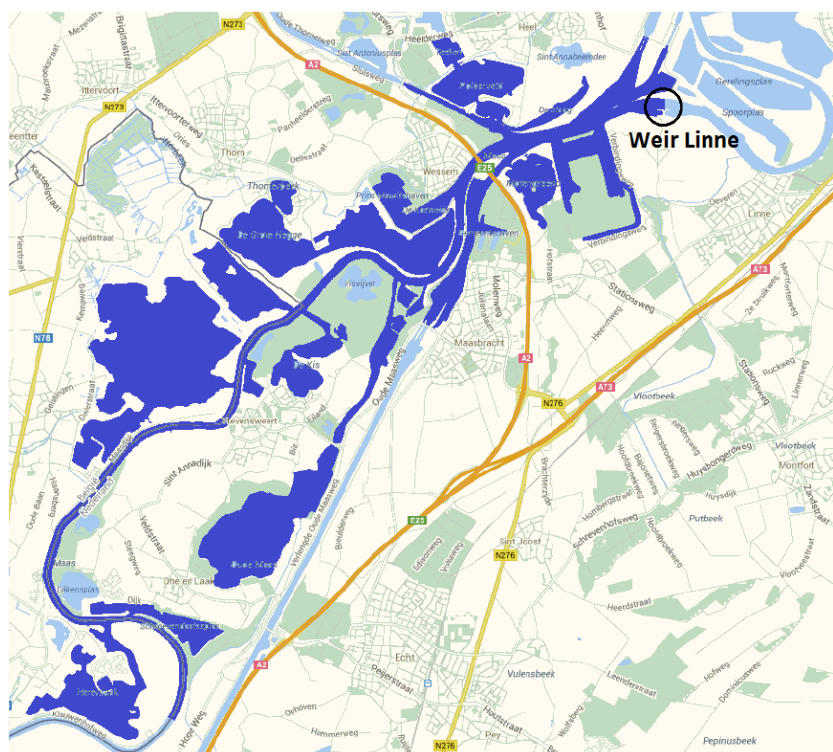
Voor het specificeren van de eisen en functies is gebruik gemaakt van system engineering. Hierbij wordt per schaalniveau de primaire en secundaire functies geformuleerd. Vervolgens kunnen de eisen worden geformuleerd. De eisen zijn onderverdeeld in de volgende typen:

- Functionele eisen
- Raakvlakeisen
- Aspecteisen

Schaalniveau 1 en 2 zijn voor deze studie minder relevant dan schaalniveau 3 en voor deze niveaus worden enkel de functionele eisen beschreven. Ook worden de relevante randvoorwaarden weergegeven. De eisenboom is per schaalniveau weergegeven in tabel 1,2 en 3.

Tabel 2 - Eisenboom Sectie Linne

Sectie Linne	
Onderdeel van	Maas
Samengesteld uit	Sluizen, kanaalpand, Clauscentrale Maasbracht, havens en Stuwcomplex Linne
Primaire functies	Transport van water
	Scheepvaart
Secundaire functies	Water pompen naar Julianakanaal tijdens lage afvoeren
	Energieopwekking
	Leveren water voor industrie
Functionele eisen	
FE.1.1	Waterstanden in het kanaalpand dienen zich te bevinden binnen de bestaande hydraulische randvoorwaarden van de dijken tijdens ontwerpafvoeren.
FE.1.2	Tijdens waterstanden beneden 20.65m + NAP is er geen scheepvaart mogelijk voor volledig geladen schepen in het kanaalpand Linne.
FE.1.3	Het kanaalpand dient een doorvaarmogelijkheid te bieden voor scheepvaartklasse CEMT Vb.
FE.1.4	Debietten van 4 tot 6 m <sup>3</sup> /s dienen tijdens lage afvoeren te worden gepompt in het Wesssem-Nederweert kanaal.
Interne raakvlakeisen	Ntb
Externe raakvlakeisen	Ntb
Aspecteisen	Ntb
Randvoorwaarden	
	De afvoer van de Grensmaas is minimaal 10m <sup>3</sup> /s
	De afvoercapaciteit van de waterkrachtcentrale is 500 m <sup>3</sup> /s
	De afvoercapaciteit van stuw Linne is 1250 m <sup>3</sup> /s



Figuur 50 - Invloedsgebied stuw Linne

Tabel 3 - Eisenboom Stuwcomplex Linne

Stuwcomplex Linne		
Onderdeel van	Kanaalpand Linne	
Samengesteld uit	Stuw, waterkrachtcentrale, overlaat, vistrap, Fietsbrug	
Primaire functies	Regulatie van bovenstroomse waterstanden ( $Q < 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ )	
	Regulatie van afvoer tijdens hoge afvoeren ( $Q > 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ )	
	Regulatie van afvoer tijdens lage afvoeren ( $Q < 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ )	
Secundaire functies	Transport van sediment	
	Transport van ijs	
	Energieopwekking	
	Wegfunctie voor voetgangers en fietsers.	
	Doorgang voor scheepvaart	
Functionele eisen		Bovenliggende eis
FE.2.1.	Het stuwcomplex dient de ontwerpafvoeren ( $Q > 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ ) te kunnen afvoeren.	FE.1.1
FE.2.2	De bodembescherming dient stabiel te zijn ten aanzien van de stroomsnelheden achter het stuwcomplex.	FE.1.1
FE.2.3	Voor afvoeren hoger dan $1250 \text{ m}^3/\text{s}$ dient de stuw volledig te zijn gestreken.	FE.1.1
FE.2.4	Het stuwcomplex dient een doorvaarmogelijkheid te bieden voor scheepvaartklasse CEMT Vb.	FE.1.3

FE.2.5	De afvoercapaciteit van de stuw dient van de bovenstroomse tot benedenstroomse grens minimaal 1250 m <sup>3</sup> /s te zijn.	FE.1.3
FE.2.6.	In normale omstandigheden dient de afvoer tot 500 m <sup>3</sup> /s te geschieden via de waterkrachtcentrale.	FE.1.3
FE.2.7	Tijdens calamiteiten dient de afvoer binnen 2 uur volledig te geschieden door de stuw.	FE.1.3
Interne raakvlakeisen	Ntb	
Externe raakvlakeisen	Ntb	
Aspecteisen	Ntb	
Randvoorwaarden		
	Bovenstroomse waterstand (normale omstandigheden = 20.8 m + NAP)	
	Benedenstroomse waterstand (normale omstandigheden = 16.85 m + NAP)	

Tabel 4 - Eisenboom Stuw Linne

Stuw Linne		
Onderdeel van	Stuwcomplex Linne	
Samengesteld uit	Poirée (nieuw te bouwen stuw) en Stoney	
Primaire functies	In stand houden van bovenstroomse waterstand	
	Water keren	
	Waterafvoer	
	Hoogwaterafvoer	
	Scheepvaart	
Secundaire functies	Transport van sediment	
	Transport van ijs	
Functionele eisen		Bovenliggende eis
FE.3.1	De stuw dient onder gebruikerscondities water te kunnen keren tot een hoogte van 21.00 m + NAP bovenstrooms en 16.85 m + NAP benedenstrooms, wat resulteert in een maximaal verval van 4.15 m.	FE.2.5
FE.3.2	De stuw dient bij calamiteiten (1: stuw benedenstrooms faalt) water te kunnen keren tot een hoogte van 21.00 m + NAP bovenstrooms en 15.95 m + NAP benedenstrooms (drempelhoogte), wat resulteert in een maximaal verval van 5.05 m.	FE.2.5
FE.3.3	De stuw dient bij calamiteiten (2: stuw bovenstrooms faalt) water te kunnen keren tot een hoogte van 22.00 m + NAP bovenstrooms en 16.85 m + NAP benedenstrooms, wat resulteert in een maximaal verval van 5.15 m.	FE.2.5
FE.3.4	De stuw dient water te kunnen afvoeren tussen 0 en 1250 m <sup>3</sup> /s met minimaal dezelfde nauwkeurigheid als de Stoney schuiven.	FE.2.5, FE.2.7
FE.3.5	De stuw dient in staat te zijn om bovenafvoer af te voeren.	FE.2.5
FE.3.6	De stuw dient bij afvoeren boven 1250 m <sup>3</sup> /s een doorvaarmogelijkheid te bieden voor scheepvaartklasse CEMT Vb.	FE.2.4
FE.3.7	Het stuwbeheer dient te geschieden volgens het huidige stuwbeheer.	FE.2.6, FE.2.7
FE.3.8	De bodembescherming dient stabiel te zijn ten aanzien van de stroomsnelheden achter de stuw.	FE.2.2
FE.3.9	De openingsprocedure van de stuw dient korter te zijn dan 8 uur, waarna de originele doorstroomoppervlakte kan worden bereikt in geval van hoge afvoeren (Q > 1250 m <sup>3</sup> /s).	FE.2.1, FE.2.3
Interne raakvlakeisen		
IR.3.1	Grens- en raakvlakken tussen objecten onderling dienen vloeiend en passend op elkaar aangesloten te worden.	
IR.3.2	Het kunstwerk moet integraal functioneren, wat inhoud dat alle objecten op elkaar en de directe omgeving zijn afgestemd.	
Externe raakvlakeisen		

ER.3.1	Aansluitende objecten dienen zowel in horizontale als in verticale zin zodanig aan te sluiten op bestaande aansluitende situatie dat de systeemoverschrijdende functies ongehinderd en veilig kunnen worden uitgevoerd.	
ER.3.2	De nieuw te bouwen stuw dient een geringe invloed te hebben op de grondwaterstanden (maximaal 0.2 m) in de nabije omgeving.	
Aspecteisen		
Betrouwbaarheid en beschikbaarheid (ABB)		
ABB.3.1	De stuw dient zijn functies gedurende 100 jaar te kunnen vervullen.	
ABB.3.2	De niet-vervangbare onderdelen van de stuw dienen ongevoelig te zijn voor aanvaringen.	
ABB.3.3	Onderdelen van de stuw die gevoelig zijn tegen aanvaringen dienen vervangbaar te zijn binnen 8 uur.	
Bediening (AB)		
AB.3.1	De stuw dient op afstand te kunnen worden bediend.	
AB.3.2	Het bedieningssysteem dient te passen bij het aanwezige systeem in de bedieningscentrale.	
Duurzaamheid (AD)		
AD.3.1	De stuw dient een energie-0-concept te hebben, waarbij de energie wordt opgewekt door middel van zonnepanelen.	
Vormgeving (AE)		
AE.3.1	De stuw dient in de omgeving worden ingepast, zoals beschreven in het landschaps- en vormgevingsplan (in ontwikkeling).	
Beheer en onderhoud (AI)		
AI.3.1	Alle te inspecteren onderdelen van de stuw dienen goed bereikbaar te zijn.	
AI.3.2	De Life-cycle costs (LCC) zijn optimaal.	
Uitvoering (AU)		
AU.3.1	De stuw dient zo dicht mogelijk bij de oude Poirée constructie te worden gebouwd.	
AU.3.2	De breedte van de stuw dient minimaal dezelfde breedte te hebben als de oude Poirée constructie, namelijk 60 meter.	
AU.3.3		
AU.3.4		

AU.3.5		
Veiligheid (AV)		
AV.3.1	De stuw dient te voldoen aan de ARBO eisen.	
AV.3.2	Het stuwcomplex dient zodanig uitgevoerd te worden dat, een afname van de beschikbaarheid van de rivier en een afname met de betrouwbaarheid van de stuw, als gevolg van vandalisme wordt uitgesloten.	
Randvoorwaarden		
	De breedte van de stuw is 60 meter.	
	Bovenkant bodem van de vaste constructie Poiréedeel is op 15.95 m + NAP.	
	Bovenstroomse waterstand (normale omstandigheden = 20.8 m + NAP)	
	Benedenstroomse waterstand (normale omstandigheden = 16.85 m + NAP)	



# C EMVI-criteria

## C EMVI-criteria

Criteria	Subcriteria	Aspect	Aandachtspunten	Doelstelling
1. Risico- en kansenplan	Risico 1.1: Het risico dat de nieuw te bouwen stuw en de huidige stuw (Stoney) niet voldoet aan de stabiliteitseisen tijdens de realisatiefase.	<b>Betrouwbaarheid</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Risico 1.2: Het risico dat op hinder en hinderbeleving voor scheepvaart, als gevolg van de werkzaamheden tijdens de realisatiefase.	<b>Beschikbaarheid</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Risico 1.3: Het risico op hinder en hinderbeleving voor de omgeving als gevolg van de werkzaamheden tijdens de realisatiefase	<b>Beschikbaarheid</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Risico 1.4: Het risico dat de betrouwbaarheid van de stuw niet wordt gehaald als gevolg van aanvaringen.	<b>Aanvaringen</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Risico 1.5: Het risico dat de betrouwbaarheid van de stuw niet wordt gehaald als gevolg van trillingen.	<b>Trillingen</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Risico 1.6: Het risico dat de betrouwbaarheid van de stuw niet wordt gehaald als gevolg van vandalisme.	<b>Vandalisme</b>		Het verkleinen van dit risico.
	Kans 1.7: De kans op een tevreden beheerder	<b>Bediengemak, fijnregeling</b>	1. De mate waarin de afvoercapaciteit beschikbaar blijft tijdens de realisatiefase. 2. De mate waarin de Beheerder wordt gefaciliteerd in het uitvoeren van zijn taken.	Invulling geven aan deze kans
	Kans 1.8: De kans op een tevreden (vaar)weggebruiker	<b>Beschikbaarheid</b>	1. De mate waarin hinder wordt beperkt. 2. De mate waarin hinder voorspelbaar is. 3. De mate van hinderbeleving.	Invulling geven aan deze kans
	Kans 1.9: De kans dat Stuw Linne toonbeeld wordt van de vernieuwende waterbouw.	<b>Innovatie en Esthetica</b>	1. De mate waarin innovatieve en toekomstgerichte techniek wordt toegepast. 2. De wijze waarop vernieuwingen leiden tot een toonbeeld van eigentijdse waterbouw. 3. De wijze waarin het architectonisch en landschappelijk ontwerp bijdraagt aan een positieve beelvorming over de waterbouwkundige oplossing.	Invulling geven aan deze kans
	Kans 1.10: De kans dat er meer afvoercapaciteit behaald kan worden dan is vereist.	<b>Toekomstvastheid</b>	1. De mate waarin de oplossing toekomstvast is. 2. De mate waarin wordt ingespeeld op de wijzigingen in klimaatscenarios.	Invulling geven aan deze kans
2. Plan duurzaamheid	2.1 Plan Energiestuw	<b>Energie</b>	1. De mate waarin energieverbruik van de stuw wordt beperkt. 2. De mate waarin duurzame energie wordt opgewekt.	Een zo energie neutraal mogelijke stuw
	2.2 CO <sub>2</sub> prestatieladder	<b>Duurzaamheid</b>		Het reduceren van CO <sub>2</sub> emissie.
	2.3 DuBo-Calc	<b>Duurzaamheid</b>		Het reduceren van milieubelasting.



# D Omgevingsanalyse

In dit hoofdstuk is er een omgevingsanalyse uitgevoerd op twee niveaus; sectie Linne en het stuwcomplex Linne.

## D.1. Sectie Linne

### D.1.1. Waterkrachtcentrale

Aan de zuidelijke kant van het stuwcomplex staat een waterkrachtcentrale. Deze bestaat uit vier turbines, van welke elk een kracht van 2.87 MW genereerd. Het maximale hoogteverschil is 4 meter. Tijdens lage afvoeren gaat het water door de waterkrachtcentrale tot een maximum van 500 m<sup>3</sup>/s.

### D.1.2. Visladder

Ook zuidelijk van het stuwcomplex bevindt zich de visladder. Hierdoor hebben vissen de mogelijkheid om het stuwcomplex over te steken door de aantrekkende stroom. De visladder heeft een lengte van 215 meter en een totale hoogteverschil van 4 meter. De visladder bestaat uit zeventien natuurlijke stappen, bestaande uit steen en grind en er gaat een afvoer van ongeveer 2 m<sup>3</sup>/s doorheen.

### D.1.3. Overlaat

Aan de noordelijke kant van het stuwcomplex bevindt zich een overlaat. Tijdens hoge afvoeren (1450 tot 1550 m<sup>3</sup>/s, gemeten bij Maastricht St. Pieter) zal de overlaat functioneren. De kruin van de overlaat bevindt zich op 21.3 m + NAP.

### D.1.4. Havens

In sectie Linne bevinden zich acht havens voor recreatie. De commerciële havens in het kanaalpand bevinden zich in Maasbracht en Wessem.

### D.1.5. Sluizen

Het kanaalpand bevat in totaal vier sluizen, in Maasbracht, Panheel, Heel en Linne. Sluis Maasbracht scheidt het Julianakanaal en de Maas. Deze sluis moet het grootste hoogteverschil keren in Nederland van 11.85 meter. De sluis in Panheel scheidt de Maas van het kanaal Wessem-Nederweert. De sluis Heel staat in het Lateraalkanaal. De sluis is de overgang van kanaalsectie Linne en kanaalsectie Belfeld. Sluis Linne scheidt kanaalpand Linne en kanaalpand Roermond.

### D.1.6 Clauscentrale

Verder bevindt zich in het kanaalpand ook de Clauscentrale. Dit is een energiecentrale die energie opwekt uit gas. Door economische omstandigheden is de Clauscentrale momenteel gesloten.

## D.2 Stuwcomplex Linne

### D.2.1. Bediening en besturing

Het Stoney-gedeelte van de stuw wordt bediend vanuit het nautisch centrum. Hier worden ook de beslissingen gemaakt ten aanzien van het strijken en zetten van de stuw. Vanuit het nautisch centrum wordt ook stuw Roermond bediend. Het Poirée-gedeelte wordt lokaal bediend.

De configuratie van bediening en besturing van het Stoney-gedeelte heeft een grote mate van beschikbaarheid van dit systeem bewerkstelligd. Bij uitvallen van de SCADA server kan op de andere server worden omgeschakeld. Bij uitvallen van de SCADA bediening in het nautisch centrum kan worden teruggevallen op de SCADA bediening in het bedienhuis Sluizencomplex Heel. Verder is bij lokale bediening de stuw volledig te bedienen en besturen.



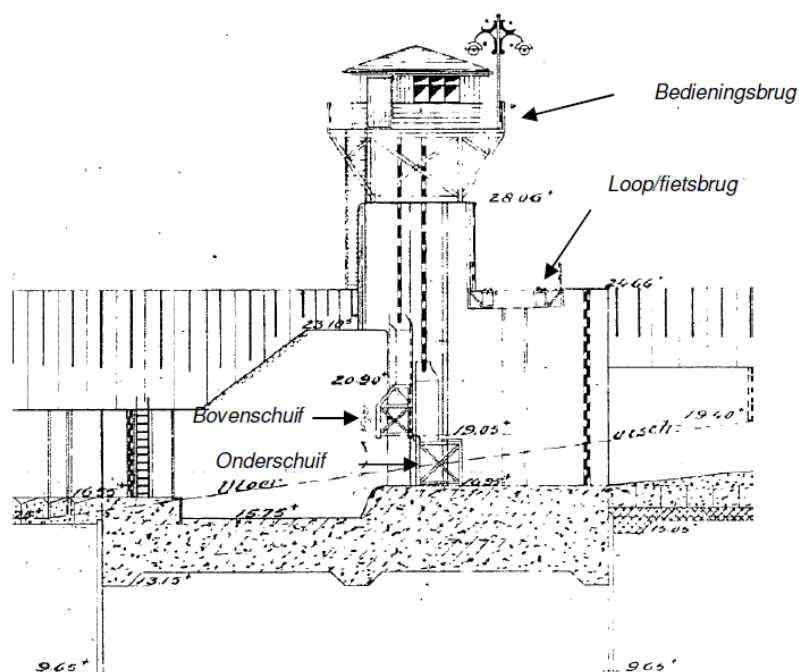
**Figuur 51 - Locatie bedienhuis Sluizencomplex Heel (IV Infra)**

### D.2.3. Bewegingswerken en loop/fietsbrug

De drie Stoney-delen van de stuw zijn in 1926 gebouwd. Op de vier betonnen pijlers zijn drie stalen bedieningsbrugdelen opgelegd. Aan ieder brugdeel zijn met kettingmechanismen twee stalen schuiven opgehangen, een bovenschuif en een onderschuif (zie figuur). Regeling van de waterafvoer vindt plaats door de schuiven geheel of gedeeltelijk te heffen. De aandrijvingen van de schuiven zijn opgesteld op de bedieningsbrug. De bedieningsbruggen zijn geklonken stalen vakwerkbruggen. De schuiven worden geleid door middel van een rollenwagen.

De schuiven hebben een kerende breedte van 17 meter. De bovenkant drempel ligt op 16.95 m + NAP. Het beneden stuwpeil is minimaal 16.80 m + NAP. Dit peil ligt dus iets lager dan de bovenkant drempel. De boven- en onderschuif hebben samen een maximaal kerende hoogte van  $20,90\text{ m} - 16,95\text{ m} = 3,95\text{ meter}$ . De boven- en onderschuif hebben beide een open en gesloten zijde. Van de bovenschuif bevindt de gesloten zijde zich aan bovenstroomse kant en van de onderschuif bevindt de gesloten zijde zich aan benedenstroomse kant. De gesloten zijden bestaan uit een verticale plaat met horizontale verstijvingen uit HP-profielen. De HP-profielen dragen hun belasting af naar een verticaal schot dat verbonden is aan twee horizontaal liggende vierendeelliggers. De vierendeelliggers overspannen de doorstroomopening.

Naast de bedieningsbrug loopt er een loop/fietsbrug over de doorstroomopeningen van het Poirée- en Stoney deel. Deze brug bestaat uit drie naast elkaar gelegen stalen vakwerkbruggen die de doorstroomopening van het Stoneydeel overspannen en één grotere stalen vakwerkbrug dat in één keer de doorstroomopening van het Poirée-gedeelte overspant. Doordat de brug een vaste brug is, is scheepvaart door de doorstroomopening van het Poirée-gedeelte niet mogelijk.



Figuur 52 - Aanzicht fietsbrug (IV-Infra)

### D.2.2. Elektrische installaties

Het aandrijving- en bewegingswerk van het Stoney-gedeelte is in 1998 gerenoveerd. De schuivenloods en de stuw zijn voorzien van een aarding- en bliksembeveiligingsinstallatie. In het bedieningshuis van het Stoney-gedeelte bevinden zich handblussers en er zijn brandmelders aanwezig die door gekoppeld zijn naar de brandmeldcentrale in de centrale bediening te Heel. Op de stuw zijn geen hydro- en meteo installaties aanwezig.

### D.2.4. Hijs- en transportinstallatie Poirée

Het Poirée-gedeelte van de stuw is in 1973 geheel vervangen, in 1987 geheel gerenoveerd en bestaat uit een 60 meter brede doorgang waartussen veertien jukken zijn geplaatst. De jukken zijn onderling verbonden met kettingen. Bij opbouw van de jukken worden de jukken onderling verbonden middels een stalen frame en door de bovengelegen uitneembare brugdelen. Tussen de jukken plaatst men drie schotten; een groot onderschot en twee kleine midden- en bovenschotten. Bij hoogwater worden de schotten getrokken met een kraanwagen en opgeslagen in de schuivenloods, naast de stuw. Over de brugdelen is rails bevestigd waarover de kraanwagen rijdt. Nadat de schotten zijn getrokken worden de brugdelen met de kraanwagen weggehaald. Uiteindelijk wordt de stuw geheel gestreken door de jukken



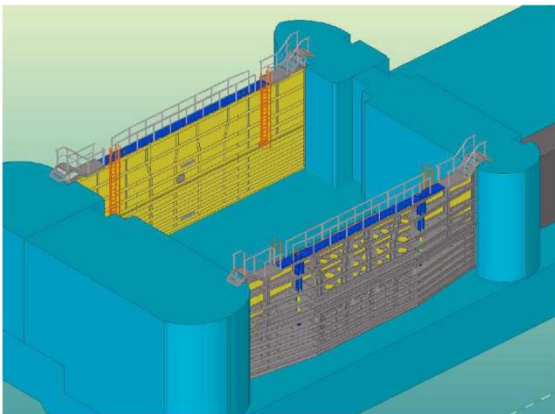
scharnierend vrijwel plat op de bodem van de Maas te leggen. Het optrekken van de jukken geschiedt met behulp van kettingen.



**Figuur 53 - Schuivenloods Poiree (IV Infra)**

### D.2.5. Onderhoudselementen

De onderhoudselementen van het Stoney-gedeelte bestaan uit vier schotbalken. Hiermee kunnen de doorstroomopening, en daarmee de schuiven, van de Stoney-delen worden drooggezet. Dezelfde schotbalken worden gebruikt voor stuw Belfeld en Sambeek. Er zijn twee soorten schotbalken te onderscheiden: de onderschotbalk van 2.7 m hoog en een bovenschotbalk van 3.7 m hoog. Ze bestaan uit staalprofielen met een stalen dekplaat.



**Figuur 54- Onderhoudselementen Stoney (IV-Infra)**

De onderhoudselementen van het Poirée-gedeelte bestaan uit reserveschotten, een drooglegkuip, schotbalken en bijbehorende hulpstukken. De reserveschotten zijn dezelfde schotbalken als voor het Stoney-gedeelte. De schotbalken zijn U-vormige elementen die twee openingen tussen de jukken overspannen, zodat de waterdruk ter plaatse van het middelste juk afneemt. De schotbalken steunen tegen de buitenste jukken. Voor de jukken aan de zijkant van de stuw zijn hulpstukken beschikbaar. Er zijn in totaal twee sets schotbalken (boven-en onderschotbalk) beschikbaar die tevens ook gebruikt kunnen worden bij stuw Roermond. De drooglegkuip dient voor het droogleggen van de scharnieren van de jukken en worden in combinatie met de schotbalken ingezet. De drooglegkuip bestaat uit twee

delen; een drooglegkuip dat kan worden ingezet voor de stuwen Linne, Roermond, Belfeld en Sambeek en een aangepast onderstuk dat speciaal voor de vorm van de bodem ter plaatse van stuw Linne en Roermond is gemaakt.



**Figuur 55 - Onderhoudselementen Poirée (IV-Infra)**

### D.2.6. Kwel- en overgangsschermen

Het Poirée – en Stoney gedeelte zijn beide gefundeerd op staal, op een ondergrond van voornamelijk zand en grind. Tijdens de bouw zijn er damwanden aangebracht onder de drempels, pijlers en landhoofden van de stuw. De damwandschermen dragen bij aan het reduceren van de geconcentreerde kwelstroom achter en onder de constructie en verkleinen het risico op piping.

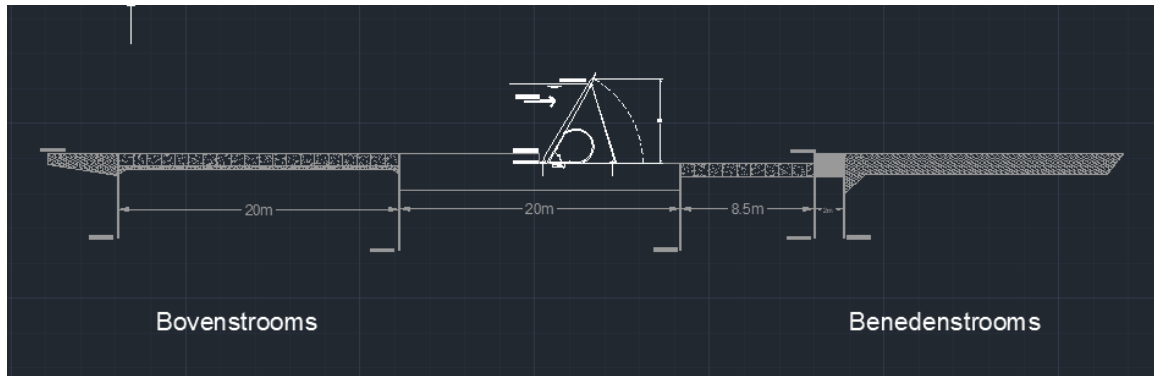
Ook zijn er tijdens de realisatie van de stuw overgangsschermen geplaatst. Deze bevinden zich tussen de bodembescherming en de granulaire bodembescherming. Ze hebben als functie om zakkings in een bepaalde mate te kunnen laten optreden zonder dat het ten koste gaat van de stabiliteit van de onderdelen.

### D.2.7. Bodembescherming

De bodembescherming bovenstrooms van de stuw bestaat uit een 20 meter lange betonvloer van betonblokken van 1 bij 1 meter gevolgd door een 5 meter lange ontvangbed van breuksteen. De stroming over de bodembescherming is afhankelijk van de rivierafvoer, de exploitatie van de waterkrachtcentrale en de configuratie van de stuwonderdelen. Over het Poirée gedeelte is er overstort en indien de jukken zijn gestreken is er vrije afvoer. Door de Stoney delen is er sprake van overstort, onderstroom of een combinatie hiervan. Als de schuiven volledig zijn geheven, is er sprake van een vrije afvoer.

De bodembescherming benedenstrooms van de stuw bestaat uit betonnen balken met een lengte van 8.5 meter, gevolgd door een overgangsconstructie bestaande uit een dubbele damwand met beton van 2 meter breed. Het laatste deel van de benedenstroomse bodembescherming bestaat uit een stortebed van breuksteen met een lengte van 20 meter (volgens tekening, na inspecties blijkt de lengte 80 meter te zijn).

Plaatje bodembescherming AutoCAD.



**Figuur 56 - Bestaande bodembescherming (auteur)**

### D.2.8. Stuwvloer

Ter plaatse van het Stoney gedeelte is een stuwvloer met woelbak aangelegd. Dit is een massieve vloerplaat van gewapend beton met een maximale dikte van 3.3 meter. Ter plaatse van de woelbak is de vloer 2.1 meter. De totale lengte van de vloer is 20 meter.

Ter plaatse van het Poirée gedeelte is een gewapend betonnen stuwvloer aangelegd. Net zoals bij het Stoney gedeelte betreft het een massieve vloerplaat van gewapend beton met een maximale dikte van 2.55 meter aan bovenstroomse zijde en 1.9 meter aan benedenstroomse zijde. In de vloer zijn verankeringen voor de jukken aangebracht.

### D.2.9. Heftorens

De pijlers van de afvoeropening bestaan uit een pijlervoet en een heftoren. De horizontale en verticale belastingen worden via de voet overgedragen aan de stuwvloer.

### D.2.10. Landhoofden en vleugelwanden

Het landhoofd van het Poirée gedeelte bestaat uit een betonnen gewichtsconstructie. Het landhoofd sluit aan de onderzijde van de stuwvloer. Het landhoofd van het Stoney gedeelte bestaan ook uit een betonnen gewichtsconstructie en heeft een vergelijkbare geometrie met de andere pijlers. De vleugelwanden zijn grondkerende constructies naast de landhoofden en zijn vast verbonden met de landhoofden.



## E.2 Afleiding relatie watersprong

## 10.5.2 Stationaire watersprong

In tegenstelling tot het voorgaande behandelen we nu de **overgang van superkritische naar subkritische stroming**; deze overgang vindt altijd plaats in de vorm van een z.g. **watersprong** (Engels: *hydraulic jump*), zie Figuur 10.8. In een watersprong vindt een vrij sterke vertraging en luchtopneming plaats, samengaan met intensieve wervelingen en een niet te verwaarlozen energieverlies. Daarbij blijven de massa en de impuls behouden. Hieruit is een betrekking af te leiden tussen de diepten aan weerszijden,  $d_1$  respectievelijk  $d_2$ , en het (constante) debiet p.e.v. breedte  $q$ . Vervolgens kan uit de energiebalans het energieverlies in de watersprong worden berekend. We gaan uit van een horizontale bodem en een verwaarloosbare



Figuur 10.8: Watersprong

bodemweerstand over het relatief korte traject tussen de doorsneden 1 en 2 aan weerszijden van de sprong, waar de stroomlijnen (nog juist of net weer) vrijwel recht zijn, zie ook Figuur 10.9.

## Balansvergelijkingen :

$$\text{volume: } q_1 = q_2,$$

$$\text{impuls: } F_1 = F_2,$$

$$\text{energie: } P_1 - P_2 = \Delta P_v,$$

ofwel

$$U_1 d_1 = U_2 d_2 = q, \quad (10.24)$$

$$\frac{1}{2} \rho g d_1^2 + \rho \frac{q^2}{d_1} = \frac{1}{2} \rho g d_2^2 + \rho \frac{q^2}{d_2}, \quad (10.25)$$

$$\rho g q \left( d_1 + \frac{q^2}{2g d_1^2} - \left( d_2 + \frac{q^2}{2g d_2^2} \right) \right) = \Delta P_v \quad (10.26)$$

Voor het aantal onbekenden en variabelen in dit stelsel geldt hetzelfde als wat hierboven in het geval van de stroming onder de schuif is gezegd. Ook hier zijn bij gegeven  $\rho$  en  $g$  slechts twee onafhankelijke variabelen, bijv.  $d_1$  en  $d_2$ , of  $d_1$  en  $q$ , of  $d_1$  en  $Fr_1 (= U_1 / \sqrt{g d_1})$ . Ook hier is een expliciete analytische oplossing mogelijk. Uit (10.25) volgt

$$\frac{d_1 + d_2}{2} d_1 d_2 = \frac{q^2}{g} (= d_g^3). \quad (10.27)$$

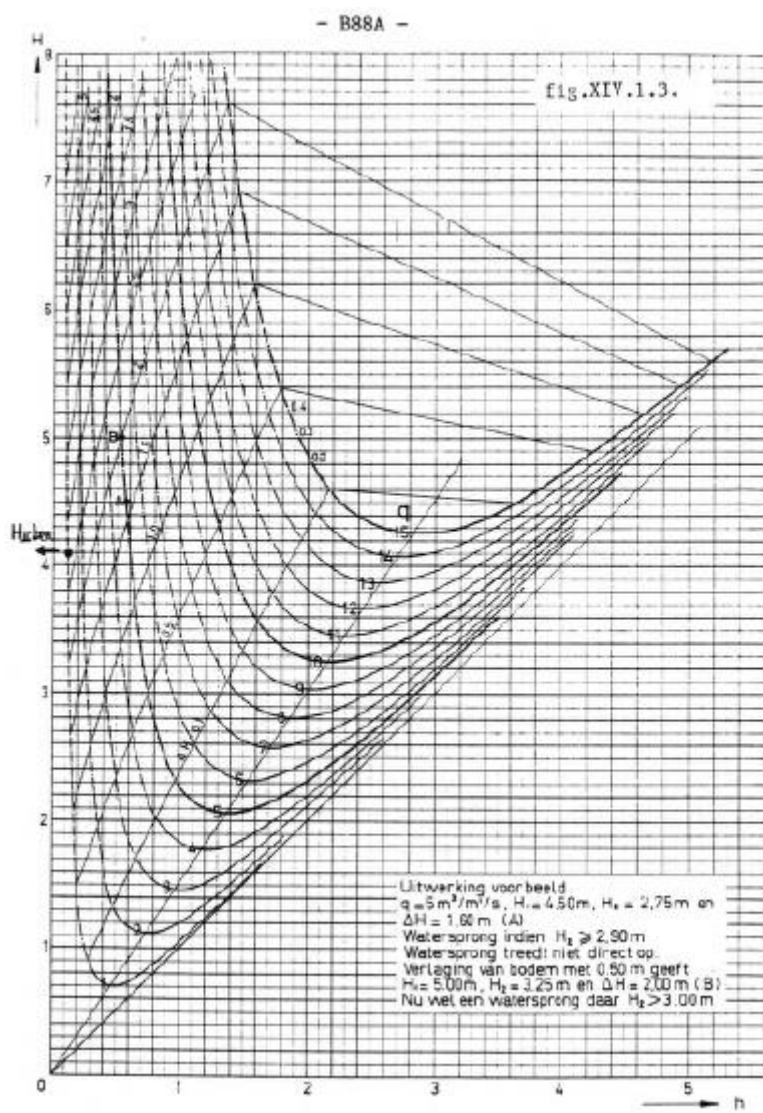
Bij gegeven waarde van  $q$  en  $d_1$  (of  $d_2$ ) is  $d_2$  (of  $d_1$ ) uit deze vierkantsvergelijking te berekenen; voor de verhouding  $d_2/d_1$  is het resultaat

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left( (1 + 8Fr_1^2)^{1/2} - 1 \right) \quad \text{waarin} \quad Fr_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g d_1}}. \quad (10.28)$$





### E3. Bepaling benodigde energiehogte voor begin watersprong





# G Uitvoering

## G.1. WBS uitvoeringsvarianten

### Uitvoeringsvariant A

TAAK	START	Einde	Dagen
<b>Bouwkuip 1</b>			
Nutsaansluitingen installeren	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
Damwanden heien	zo 2-18-18	ma 3-19-18	30
Grond ontgraven	di 3-20-18	za 3-24-18	5
Stempels installeren	zo 3-25-18	do 3-29-18	5
Grond verder ontgraven	vr 3-30-18	di 4-03-18	5
Onderwaterbetonvloer storten	wo 4-04-18	zo 4-08-18	5
Water pompen uit bouwkuip	ma 4-09-18	wo 4-18-18	10
Brugconstructie bouwen	do 4-19-18	ma 4-23-18	5
<b>Omhullende constructie 1</b>			
Landhoofd 1 bouwen	di 4-24-18	ma 5-28-18	35
Middenpijler bouwen	di 4-24-18	do 5-10-18	17
Beton drempel storten	di 5-29-18	do 6-07-18	10
Roestvrijstalen luchttoevoerleidingen verwerken in beton	vr 6-08-18	za 6-09-18	2
Rubberen platen op landhoofd en middenpijler plaatsen	zo 6-10-18	ma 6-11-18	2
Ankerbouten afdichten in vloer	di 6-12-18	di 6-12-18	1
Kussens plaatsen op drempel	wo 6-13-18	vr 6-22-18	10
Rubberen scharnierkleppen vast Schroeven aan kleppen	za 6-23-18	wo 6-27-18	5
Kleppen en kussens vastmaken met buigzame ijzere klemmen	do 6-28-18	ma 7-02-18	5
Damwanden verwijderen tot onderwaterbeton	di 7-03-18	zo 7-22-18	20
<b>Installatie stuw 1</b>			
Waterstandmeters plaatsen	ma 7-23-18	ma 7-23-18	1
Apparatuur installeren in controlehuis	ma 7-23-18	wo 8-01-18	10
Test stuwopening 1	do 8-02-18	do 8-02-18	1
In gebruikstelling stuwopening 1	vr 8-03-18	vr 8-03-18	1
<b>Prefab kleppen en kussens</b>			
Maken rubberen kussens in fabriek	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
Maken stalen kleppen in fabriek	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
Vervoeren onderdelen naar locatie	zo 2-18-18	wo 2-21-18	4

<b>Bouwkuip 2</b>			
		-	
Nutsaansluitingen installeren	za 8-04-18	do 8-23-18	20
Damwanden heien	vr 8-24-18	za 9-22-18	30
Grond ontgraven	zo 9-23-18	do 9-27-18	5
Stempels installeren	vr 9-28-18	di 10-02-18	5
Grond verder ontgraven	wo 10-03-18	zo 10-07-18	5
Onderwaterbetonvloer storten	ma 10-08-18	vr 10-12-18	5
Water pompen uit bouwkuip	za 10-13-18	ma 10-22-18	10
Brugconstructie bouwen	di 10-23-18	za 10-27-18	5
<b>Omhullende constructie 2</b>			
		-	
Landhoofd 2 bouwen	zo 10-28-18	za 12-01-18	35
Beton drempel storten	zo 12-02-18	di 12-11-18	10
Roestvrijstalen luchttoevoerleidingen verwerken in beton	wo 12-12-18	do 12-13-18	2
Rubberen platen op landhoofd en middenpijler plaatsen	vr 12-14-18	za 12-15-18	2
Ankerbouten afdichten in vloer	zo 12-16-18	zo 12-16-18	1
Kussens plaatsen op drempel	ma 12-17-18	wo 12-26-18	10
Rubberen scharnierkleppen vastschroeven aan kleppen	do 12-27-18	ma 12-31-18	5
Kleppen en kussens vastmaken met buigzame ijzeren klemmen	di 1-01-19	za 1-05-19	5
Damwanden verwijderen tot onderwaterbeton	zo 1-06-19	vr 1-25-19	20
<b>Installatie stuw 2</b>			
		-	
Waterstandmeters plaatsen	za 1-26-19	za 1-26-19	1
Apparateur installeren in controlehuis	za 1-26-19	ma 2-04-19	10
Test stuwopening 2	di 2-05-19	di 2-05-19	1
In gebruikstelling stuwopening 2	wo 2-06-19	wo 2-06-19	1

**Uitvoeringsvariant B**

WBS	TAAK	START	Einde	Dagen
<b>1</b>	<b>Klassieke bouwput</b>		-	
1.1	Nutsaansluitingen installeren	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
1.2	Bronbemaling	zo 2-18-18	di 2-27-18	10
1.3	Grond droog ontgraven	wo 2-28-18	zo 3-04-18	5
1.4	Werkvloer storten	ma 3-05-18	vr 3-09-18	5
1.5	Werkwegen maken	za 3-10-18	ma 3-19-18	10
1.6	Kwelschermen heien	di 3-20-18	zo 4-08-18	20
<b>2</b>	<b>Omhullende constructie</b>		-	
2.1	Landhoofd 1 bouwen	ma 4-09-18	zo 5-13-18	35
2.2	Landhoofd 2 bouwen	ma 4-09-18	zo 5-13-18	35
2.3	Middenpijler bouwen	ma 4-09-18	wo 4-25-18	17
2.4	Beton drempel storten	do 4-26-18	za 5-05-18	10
2.5	Roestvrijstalen luchttoevoerleidingen verwerken in beton	zo 5-06-18	ma 5-07-18	2
2.6	Rubberen platen op landhoofd en middenpijler plaatsen	di 5-08-18	wo 5-09-18	2
2.7	Ankerbouten afdichten in vloer	do 5-10-18	do 5-10-18	1
2.8	Kussens plaatsen op drempel	vr 5-11-18	zo 5-20-18	10
2.9	Rubberen scharnierkleppen vast Schroeven aan kleppen	ma 5-21-18	ma 5-21-18	1
2.10	Kleppen en kussens vastmaken met buigzame ijzeren klemmen	di 5-22-18	za 5-26-18	5
<b>3</b>	<b>Prefab kleppen en kussens</b>		-	
3.1	Maken rubberen kussens in fabriek	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
3.2	Maken stalen kleppen in fabriek	di 1-30-18	zo 2-18-18	20
3.3	Vervoeren onderdelen naar locatie	ma 2-19-18	do 2-22-18	4
<b>4</b>	<b>Grondverzet</b>		-	
4.1	Bouwput verder ontgraven tot hoofdgeul	zo 5-27-18	vr 6-15-18	20
4.2	Gedeelte hoofdgeul huidige stuw afsluiten	za 6-16-18	zo 7-15-18	30
<b>5</b>	<b>Installatie stuw</b>		-	
5.1	Waterstandmeters plaatsen	ma 7-16-18	ma 7-16-18	1
5.2	Apparateur installeren in controlehuis	di 7-17-18	do 7-26-18	10
5.3	Test stuw	vr 7-27-18	vr 7-27-18	1
5.4	In gebruikstelling stuw	za 7-28-18	za 7-28-18	1

**Uitvoeringsvariant C**

WBS	TAAK	START	Einde	Dagen
<b>1</b>	<b>Prefab kleppen en kussens</b>		-	
1.1	Maken rubberen kussens in fabriek	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
1.2	Maken stalen kleppen in fabriek	di 1-30-18	zo 2-18-18	20
1.3	Vervoeren onderdelen naar bouwdok	ma 2-19-18	do 2-22-18	4
<b>2</b>	<b>Bouwdok</b>		-	
2.1	Toegangswegen maken	ma 1-29-18	wo 2-07-18	10
2.2	Nutsaansluitingen installeren	do 2-08-18	di 2-27-18	20
2.3	Installatie ontwateringssysteem	wo 2-28-18	zo 3-04-18	5
2.4	Bemaling tot bodem	ma 3-05-18	vr 3-09-18	5
2.5	Werkvloer storten	za 3-10-18	wo 3-14-18	5
2.6	Kwelschermen heien	do 3-15-18	di 4-03-18	20
<b>3</b>	<b>Bouw drempel 1 prefab</b>		-	
3.1	Beton drempel storten	wo 4-04-18	vr 4-13-18	10
3.2	Roestvrijstalen luchttoevoerleidingen verwerken in beton	za 4-14-18	zo 4-15-18	2
3.3	Rubberen platen op landhoofd en middenpijler plaatsen	ma 4-16-18	di 4-17-18	2
3.4	Ankerbouten afdichten in vloer	wo 4-18-18	wo 4-18-18	1
3.5	Kussens plaatsen op drempel	do 4-19-18	za 4-28-18	10
3.6	Rubberen scharnierkleppen vastschroeven aan kleppen	zo 4-29-18	zo 4-29-18	1
3.7	Kleppen en kussens vastmaken met buigzame ijzeren klemmen	ma 4-30-18	vr 5-04-18	5
3.8	Bevestigen speciale kabels aan drempel voor transport	za 5-05-18	zo 5-06-18	2
<b>4</b>	<b>Bouwkuip 1</b>		-	
4.1	Nutsaansluitingen installeren	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
4.2	Damwanden heien	zo 2-18-18	vr 3-09-18	20
4.3	Groutankers installeren	za 3-10-18	wo 3-14-18	5
4.4	Grond ontgraven	do 3-15-18	za 3-24-18	10
4.5	Onderwaterbetonvloer storten	zo 3-25-18	do 3-29-18	5
4.6	Water pompen uit bouwkuip	vr 3-30-18	zo 4-08-18	10
4.7	Bouw landhoofd 1	ma 4-09-18	zo 5-13-18	35
<b>5</b>	<b>Bouwkuip 2</b>		-	
5.1	Nutsaansluitingen installeren	ma 1-29-18	za 2-17-18	20
5.2	Damwanden heien	zo 2-18-18	vr 3-09-18	20
5.3	Groutankers installeren	za 3-10-18	wo 3-14-18	5
5.4	Grond ontgraven	do 3-15-18	za 3-24-18	10

## G Uitvoering

5.5	Onderwaterbetonvloer storten	zo 3-25-18	do 3-29-18	5
5.6	Water pompen uit bouwkuip	vr 3-30-18	zo 4-08-18	10
5.7	Bouw landhoofd 2	ma 4-09-18	zo 5-13-18	35
<b>6</b>	<b>Bouwkuip 3</b>	-		
6.1	Nutsaansluitingen installeren	ma 1-29-18	vr 2-02-18	5
6.2	Damwanden heien	za 2-03-18	do 2-22-18	20
6.3	Stempels installeren	vr 2-23-18	di 2-27-18	5
6.4	Grond ontgraven	wo 2-28-18	vr 3-09-18	10
6.5	Onderwaterbetonvloer storten	za 3-10-18	wo 3-14-18	5
6.6	Water pompen uit bouwkuip	do 3-15-18	za 3-24-18	10
6.7	Bouw middenpijler	zo 3-25-18	vr 4-13-18	20
<b>7</b>	<b>Transport en afzinken</b>	-		
7.1	Bouwput onder water laten lopen	ma 5-07-18	wo 5-16-18	10
7.2	Vastmaken drempel aan pontons met kabels	do 5-17-18	do 5-17-18	1
7.3	Transport naar definitieve locatie	vr 5-18-18	vr 5-18-18	1
7.4	Afzinken op kwelscherm tussen landhoofd en middenpijler	za 5-19-18	za 5-19-18	1
<b>8</b>	<b>Installatie stuwopening 1</b>	-		
8.1	Luchttoevoerleidingen vastkoppelen aan installaties landhoofd	zo 5-20-18	do 5-24-18	5
8.2	Waterstandmeters plaatsen	vr 5-25-18	vr 5-25-18	1
8.3	Apparateur installeren in controlehuis	za 5-26-18	ma 6-04-18	10
8.4	Test stuwopening 1	di 6-05-18	di 6-05-18	1
8.5	In gebruikstelling stuwopening 1	wo 6-06-18	wo 6-06-18	1
<b>9</b>	<b>Bouw drempel 2 prefab</b>	-		
9.1	Beton drempel storten	zo 5-20-18	di 5-29-18	10
9.2	Roestvrijstalen luchttoevoerleidingen verwerken in beton	wo 5-30-18	do 5-31-18	2
9.3	Rubberen platen op landhoofd en middenpijler plaatsen	vr 6-01-18	za 6-02-18	2
9.4	Ankerbouten afdichten in vloer	zo 6-03-18	zo 6-03-18	1
9.5	Kussens plaatsen op drempel	ma 6-04-18	wo 6-13-18	10
9.6	Rubberen scharnierkleppen vastschroeven aan kleppen	do 6-14-18	do 6-14-18	1
9.7	Kleppen en kussens vastmaken met buigzame ijzeren klemmen	vr 6-15-18	di 6-19-18	5
9.8	Bevestigen speciale kabels aan drempel voor transport	wo 6-20-18	do 6-21-18	2
<b>10</b>	<b>Transport en afzinken</b>	-		



## G Uitvoering

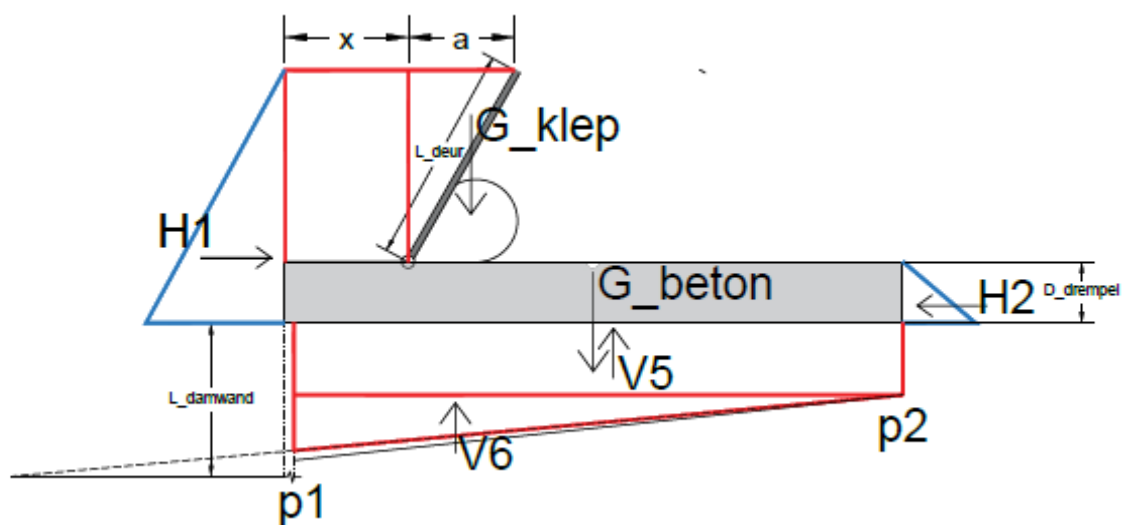
---

10.1	Bouwput onder water laten lopen	vr 6-22-18	zo 7-01-18	10
10.2	Vastmaken drempel aan pontons met kabels	ma 7-02-18	ma 7-02-18	1
10.3	Transport naar definitieve locatie	di 7-03-18	di 7-03-18	1
10.4	Afzinken op kwelscherm tussen landhoofd en middenpijler	wo 7-04-18	wo 7-04-18	1
<b>11</b>	<b>Installatie stuwopening 2</b>		-	
11.1	Luchttoevoerleidingen vastkoppelen aan installaties landhoofd	do 7-05-18	ma 7-09-18	5
11.2	Waterstandmeters plaatsen	di 7-10-18	di 7-10-18	1
11.3	Apparateur installeren in controlehuis	wo 7-11-18	vr 7-20-18	10
11.4	Test stuwopening 2	za 7-21-18	za 7-21-18	1
11.5	In gebruikstelling stuwopening 2	zo 7-22-18	zo 7-22-18	1

## G.2. Belastingsituaties

Belasting situatie 1: gebruikersfase.

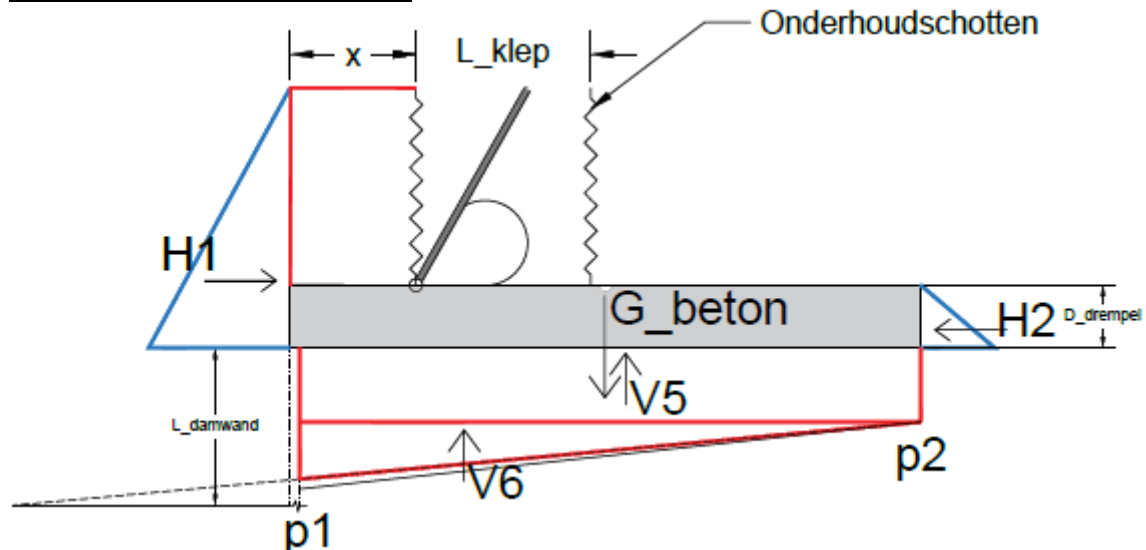
	Waarde	Eenheid	Omschrijving
<b>Constanten</b>			
y_w	10	kN/m <sup>3</sup>	Soortelijke massa water
y_beton	25	kN/m <sup>3</sup>	Soortelijke massa beton
g	10	m/s <sup>2</sup>	Gravitatieconstante
y_deur	2,4	kN/m <sup>2</sup>	Gewicht stalen klep
<b>Variabelen /Invoer</b>			
h1	6	m	Bovenstroomse waterstand
Δh	6	m	Verval over stuw
δ	0,34906585	Rad	Inwendige hoek grond = grind
β	1,047197551	Rad	Hoek klep met de horizontaal
B_drempel	50	m	Breedte drempel
D	2	m	Dikte drempel
L_drempel	34	m	Lengte drempel
x	4	m	Afstand scharnier tot begin drempel
C_b	10	(-)	Constante van Bligh (grind-zand bodem)
L_bligh	60	m	Kwellengte
h2	0	m	Benedenstroomse waterstand
L_deur	6,92820323	m	Lengte klep
a	3,464101615	m	Horizontale afstand klep tot scharnier
b	0	m	Horizontale afstand verticale waterdruk tot scharnier
c	30	m	Horizontale lengte verticale waterdruk



Horizontale krachten		
H1	320	kN/m
H2	20	kN/m
$\Sigma H$	300	kN/m
Verticale krachten		
V1	240	kN/m
V2	103,9230485	kN/m
V3	0	kN/m
V4	0	kN/m
L_damwand	13	m
p1	54	kN/m <sup>2</sup>
p2	20	kN/m <sup>2</sup>
V5	680	kN/m
V6	578	kN/m
G_beton	1700	kN/m
G_deur	16,62768775	kN/m
$\Sigma V$	802,5507362	kN/m
Momenten		
M_h1	853,3333333	kNm/m
M_h2	-13,33333333	kNm/m
M_v1	-3600	kNm/m
M_v2	-1230,99963	kNm/m
M_v3	0	kNm/m
M_v4	0	kNm/m
M_v5	0	
M_v6	3275,333333	kNm/m
M_beton	0	
M_deur	-187,3599408	kNm/m
$\Sigma M$	-903,0262374	kNm/m

Berekenen uitwendige stabiliteit		
L_damwandmin	13	m
<u>Kantelen</u>		
$\Sigma M / \Sigma V$	1,125195	m
L/6	5,666667	m
Check	Voldoet	
<u>Afschuiven</u>		
$1,2 * \Sigma H / \Sigma V$	0,44857	
tan $\delta$	0,55	
Check	Voldoet	
<u>Funderingsdrukken</u>		
A_drempel	1700	m <sup>2</sup>
Toelaatbare druk	100	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma_{ptr1}$	18,91745	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma_{ptr2}$	28,29142	kN/m <sup>2</sup>
Check1	Voldoet	
Check2	Voldoet	

Belasting situatie 2: onderhoud

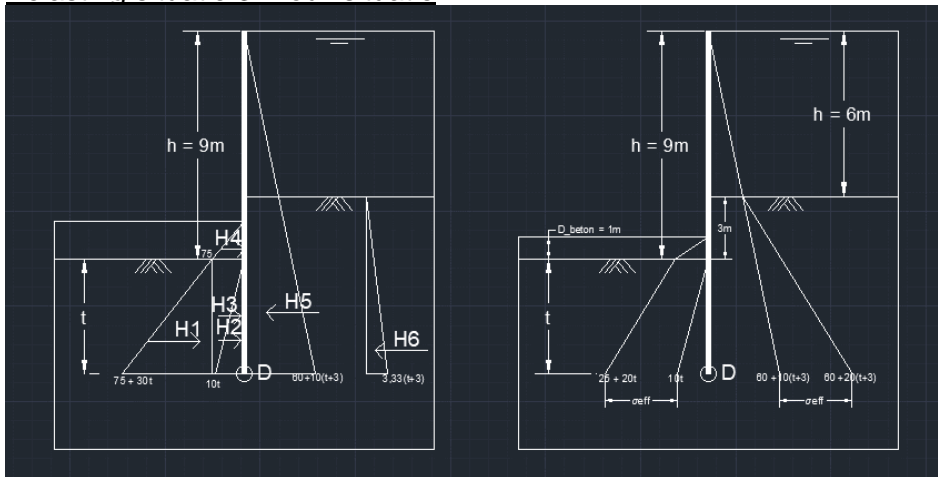


	Waarde	Eenheid	Omschrijving
<b>Constanten</b>			
y_w	10	kN/m <sup>3</sup>	Soortelijke massa water
y_beton	25	kN/m <sup>3</sup>	Soortelijke massa beton
g	10	m/s <sup>2</sup>	Gravitatieconstante
y_deur	2,4	kN/m <sup>2</sup>	Gewicht stalen klep
<b>Variabelen /Invoer</b>			
h1	6	m	Bovenstroomse waterstand
Δh	6	m	Verval over stuw
δ	0,436332313	Rad	Inwendige hoek grond
β	1,047197551	Rad	Hoek klep met de horizontaal
B_drempel	50	m	Breedte drempel
D	2	m	Dikte drempel
L_drempel	34	m	Lengte drempel
x	4	m	Afstand scharnier tot begin drempel
C_b	10	(-)	Constante van Bligh (grind-zand bodem)
L_bligh	60	m	Kwellengte
h2	0	m	Benedenstroomse waterstand
L_deur	6,92820323	m	Lengte klep
a	3,464101615	m	Horizontale afstand klep tot scharnier
b	0	m	Horizontale afstand verticale waterdruk tot scharnier
c	30	m	Horizontale lengte verticale waterdruk

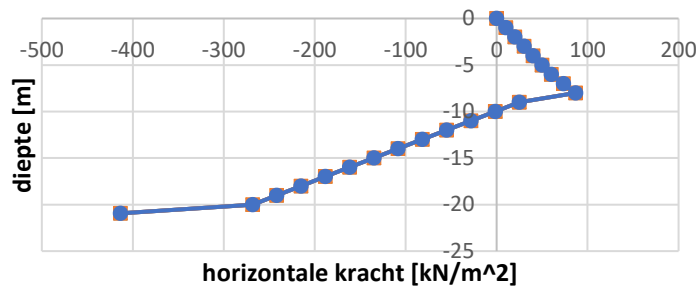
Horizontale krachten		
H1	320	kN/m
H2	20	kN/m
$\Sigma H$	300	kN/m
Verticale krachten		
V1	240	kN/m
V2	0	kN/m
V3	0	kN/m
V4	0	kN/m
L_damwand	13	m
p1	54	kN/m <sup>2</sup>
p2	20	kN/m <sup>2</sup>
V5	680	kN/m
V6	578	kN/m
G_beton	1700	kN/m
G_deur	16,62768775	kN/m
$\Sigma V$	698,6276878	kN/m
Momenten		
M_h1	853,3333333	kNm/m
M_h2	-13,33333333	kNm/m
M_v1	-3600	kNm/m
M_v2	0	kNm/m
M_v3	0	kNm/m
M_v4	0	kNm/m
M_v5	0	
M_v6	3275,333333	kNm/m
M_beton	0	
M_deur	-187,3599408	kNm/m
$\Sigma M$	327,9733925	kNm/m

Berekenen uitwendige stabiliteit		
L_damwandmin	13	m
<u>Kantelen</u>		
$\Sigma M / \Sigma V$	0,469454	m
L/6	5,666667	m
Check	Voldoet	
<u>Afschuiven</u>		
$1,2 * \Sigma H / \Sigma V$	0,515296	
tan $\delta$	0,55	
Check	Voldoet	
<u>Funderingsdrukken</u>		
A_drempel	1700	m <sup>2</sup>
Toelaatbare druk	100	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma_{ptr1}$	22,25016	kN/m <sup>2</sup>
$\sigma_{ptr2}$	18,84559	kN/m <sup>2</sup>
Check1	Voldoet	
Check2	Voldoet	

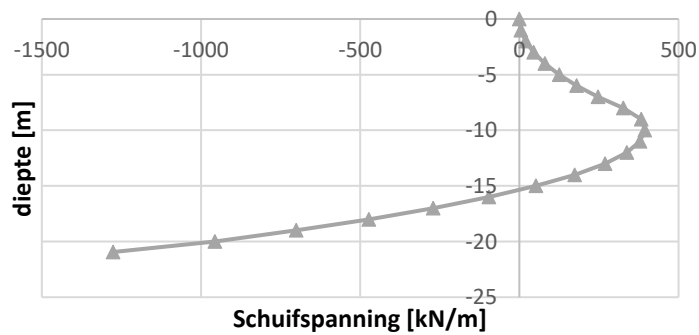
Belasting situatie 3: Bouwsituatie



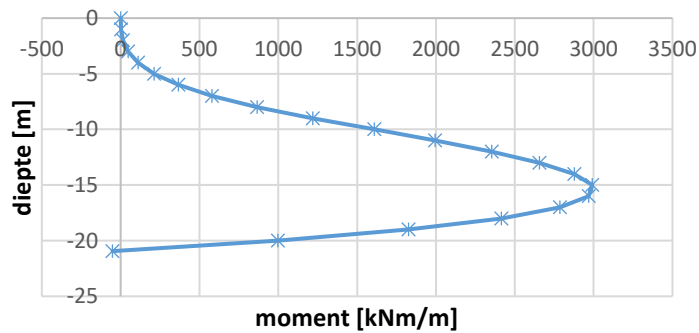
Resulterende horizontale krachten diagram



S- diagram



M diagram



## G Uitvoering

h	9 m	waterdiepte	
( $\gamma_s$ )	20 kN/m <sup>3</sup>	Verzadigd gewicht grind	
( $\gamma_w$ )	10 kN/m <sup>3</sup>	gewicht water	
( $\phi$ )	30 degrees	internal friction	
c	0 kN/m <sup>2</sup>	cohesie	
$\delta$	0 degrees	wall friction	
Ka	3		
Kp	0,333333		
t	11,94 m	ingraafdiepte	
H1	2138,454 kN		
H2	712,818 kN		
H3	895,5 kN		
H4	37,5 kN		
H5	2192,418 kN		
H6	371,634 kN		
M1	8511,047 kNm		
M2	2837,016 kNm		
M3	5346,135 kNm		
M4	460,25 kNm		
M5	15303,08 kNm		
M6	1850,737 kNm		
SOM M	-0,63263 kNm		
SOM H	1220,22 Kn		
hoogte	hor stress	S diagram	M diagram
0	0	0	0
1	10	5	2,5
2	20	20	15
3	30	45	47,5
4	40	80	110
5	50	125	212,5
6	60	180	365
7	73,33	246,665	578,3325
8	86,66	326,66	864,995
9	24,99	382,485	1219,5675
10	-1,68	394,14	1607,88
11	-28,35	379,125	1994,5125
12	-55,02	337,44	2352,795
13	-81,69	269,085	2656,0575
14	-108,36	174,06	2877,63
15	-135,03	52,365	2990,8425
16	-161,7	-96	2969,025
17	-188,37	-271,035	2785,5075
18	-215,04	-472,74	2413,62
19	-241,71	-701,115	1826,6925
20	-268,38	-956,16	998,055
20,94	-413,45	-1276,62	-51,35160282



### **G.3. Kostentemplates uitvoeringsvarianten**

Omschrijving	Aantal	Eenh.	Prijs	Totaal	Toelichting
<b>Bouwkuip in 2 helften voor stuw</b>				<b>5.739.726,80</b>	
- Heien bouwkuip fase 1 (incl. leveren, hergebruik)	2.508,00	m2	190,00	476.520,00	Oppervlakte van de bouwkuip. Lengte drempel + middenpijler+ landhoofd, rekening houdend met twee meter sparing voor loopruimte
- Ontgraven bouwkuip	7.524,00	m3	10,00	75.240,00	Volume bouwkuip(Oppervlakte van de bouwkuip* ontgravingsdiepte excl water). Ontgravingsdiepte vanaf bodem rivier = 3 m aangenomen. Wel 6 m waterdiepte bovenop, niet meegenomen.
- Aanbrengen trekpalen	750,00	m2	480,00	360.000,00	<i>Trekpalen voor Onderwaterbeton? Damwanden voor de bouwkuip? Onderloopsheidschermen? Laatst aangenomen= 15m diepe vanaf bodem onderwaterbeton. Heb er een oppervlakte van gemaakt. 15 meter x 50 m breed</i>
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	2.508,00	m2	8,33	20.879,10	Oppervlakte van de bouwkuip.
- Onderwaterbeton (1m dik)	2.508,00	m3	130,00	326.040,00	Oppervlakte bouwkuip * 1 m
- Droogpompen bouwkuip	22.572,00	m3	0,25	5.643,00	Volume bouwkuip(Oppervlakte van de bouwkuip* ontgravingsdiepte incl water), rekening houdend met één meter sparing voor loopruimte
- Bouw betonwerk	4.002,00	m3	450,00	1.800.900,00	Volume drempel= 35*50*2m dik (3500m3). Landhoofd en drempel holle constructies aangenomen. landhoofd = 2*8*0.5m + 2*35*0.5m + 2* 35*8*0.5m (288m3) en middenpijler = 2*4*0.5m + 2*35*0.5m + 2* 35*4*0.5m(179m3) , zie plaatje
- Trekken bouwkuip fase 1	2.508,00	m2	25,00	62.700,00	Oppervlakte van de bouwkuip. Lengte drempel + middenpijler+ landhoofd, rekening houdend met twee meter sparing voor loopruimte
- Heien bouwkuip fase 2	2.356,00	m2	30,00	70.680,00	Oppervlakte van de bouwkuip. Lengte drempel + landhoofd, rekening houdend met twee meter sparing voor loopruimte
- Ontgraven bouwkuip	7.068,00	m3	10,00	70.680,00	Volume bouwkuip(Oppervlakte van de bouwkuip* ontgravingsdiepte). Ontgravingsdiepte vanaf bodem rivier = 3 m aangenomen. Wel 6 m waterdiepte bovenop, niet meegenomen.
- Aanbrengen trekpalen	750,00	m2	480,00	360.000,00	<i>Trekpalen voor Onderwaterbeton? Damwanden voor de bouwkuip? Onderloopsheidschermen? Laatst aangenomen= 20 m diepe vanaf bodem onderwaterbeton. Heb er een oppervlakte van gemaakt. 20 meter x 50 m breed</i>

## G Uitvoering

- Aanbrengen grindlaag 10 cm	2.356,00	m2	8,33	19.613,70	Oppervlakte van de bouwkuip.
- Onderwaterbeton (1m dik)	2.356,00	m3	130,00	306.280,00	Oppervlakte bouwkuip * 1 m
- Droogpompen bouwkuip	21.204,00	m3	0,25	5.301,00	Volume bouwkuip(Oppervlakte van de bouwkuip* ontgravingsdiepte incl water). Ontgravingsdiepte = 6+3= 9 m
- Bouw betonwerk	3.823,00	m3	450,00	1.720.350,00	Volume drempel (3500m3), landhoofd(323m3)
- Trekken bouwkuip fase 2	2.356,00	m2	25,00	58.900,00	Oppervlakte van de bouwkuip.
				-	
<b>Bouwkuip in 2 helften oude geul</b>				<b>7.719.726,80</b>	
- Heien bouwkuip fase 1 (incl. leveren en hergebruik)	2.508,00	m2	190,00	476.520,00	
- Ontgraven bouwkuip	7.524,00	m3	10,00	75.240,00	
- Aanbrengen trekpalen	750,00	m	480,00	360.000,00	
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	2.508,00	m2	8,33	20.879,10	
- Onderwaterbeton (1m dik)	2.508,00	m3	130,00	326.040,00	
- Droogpompen bouwkuip	22.572,00	m3	0,25	5.643,00	
- Bouw betonwerk	4.002,00	m3	450,00	1.800.900,00	
- Trekken bouwkuip fase 1	2.508,00	m2	25,00	62.700,00	
- Heien bouwkuip fase 2	2.356,00	m2	30,00	70.680,00	
- Ontgraven bouwkuip	7.068,00	m3	10,00	70.680,00	
- Aanbrengen trekpalen	750,00	m	480,00	360.000,00	
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	2.356,00	m2	8,33	19.613,70	
- Onderwaterbeton (1m dik)	2.356,00	m3	130,00	306.280,00	

## G Uitvoering

- Droogpompen bouwkuip	21.204,00	m3	0,25	5.301,00	
- Bouw betonwerk	3.823,00	m3	450,00	1.720.350,00	
- Trekken bouwkuip fase 2	2.356,00	m2	25,00	58.900,00	Volgens mij geen verschillen ten aanzien van optie 1. Alleen bij deze variant één grote bouwkuip toch? Twee niet nodig. Qua volumes maakt het verder niet uit. Verder kies ik in mijn rapport voor klassieke bouwput met natuurlijke helling zonder damwanden, maakt dit veel verschil?
- Ontgraven en afvoeren grond nieuwe rivier	<b>360.000,00</b>	m3	5,50	1.980.000,00	Aangenomen wordt: 400 lengte x 150 meter x 6 meter diep = 360000m <sup>3</sup> , zie plaatje
				-	
<b>Prefab oplossing voor bestaande stuw</b>				<b>4.370.559,09</b>	
- Heien bouwkuip landhoofd 1 (incl. leveren en hergebruik)	456,00	m2	190,00	86.640,00	Breedte landhoofd = 8 meter , ( 8+4) * (34 + 4) = 456 m2, rekening houdend met 2 meter loopruimte
- Ontgraven bouwkuip	4.104,00	m3	10,00	41.040,00	Oppervlakte bouwkuip * 9 m ontgraving.
- Aanbrengen trekpalen	120,00	m2	480,00	57.600,00	Kwelschermen 15 m vanaf owb = 8 * 15 = 120 m
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	456,00	m2	8,33	3.796,20	Oppervlakte bouwkuip
- Onderwaterbeton (1m dik)	456,00	m3	130,00	59.280,00	Oppervlakte bouwkuip* 1m
- Droogpompen bouwkuip	4.104,00	m3	0,25	1.026,00	Oppervlakte bouwkuip * 9 m ontgraving.
- Bouw betonwerk	288,00	m3	450,00	129.600,00	Landhoofd = 2*8*0.5m + 2*35*0.5m + 2* 35*8*0.5m (288m3)
- Trekken bouwkuip landhoofd 1	456,00	m2	25,00	11.400,00	Oppervlakte bouwkuip
- Heien bouwkuip landhoofd 2	456,00	m2	30,00	13.680,00	Oppervlakte bouwkuip
- Ontgraven bouwkuip	4.104,00	m3	10,00	41.040,00	Oppervlakte bouwkuip * 9 m ontgraving.
- Aanbrengen trekpalen	120,00	m2	480,00	57.600,00	Kwelschermen 15 m vanaf owb = 8 * 15 = 120 m
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	456,00	m2	8,33	3.796,20	Oppervlakte bouwkuip

## G Uitvoering

- Onderwaterbeton (1m dik)	456,00	m3	130,00	59.280,00	Oppervlakte bouwkuip * 1 m
- Droogpompen bouwkuip	4.104,00	m3	0,25	1.026,00	Oppervlakte bouwkuip * 9 m ontgraving.
- Bouw betonwerk	288,00	m3	450,00	129.600,00	Landhoofd = $2*8*0.5m + 2*35*0.5m + 2* 35*8*0.5m$ (288m3)
- Trekken bouwkuip landhoofd 2	456,00	m2	25,00	11.400,00	Oppervlakte bouwkuip
- Heien bouwkuip middenpijler	304,00	m2	30,00	9.120,00	Breedte middenpijler = 4 meter , $( 4+4 ) * (34 + 4) = 304m2$ , rekening houdend met 2 meter loopruimte
- Ontgraven bouwkuip	912,00	m3	10,00	9.120,00	Oppervlakte bouwkuip * 3 m ontgraving.
- Aanbrengen trekpalen	60,00	m2	480,00	28.800,00	Kwelschermen 15 m vanaf owb = $4 * 15 = 60$ m
- Aanbrengen grindlaag 10 cm	304,00	m2	8,33	2.530,80	Oppervlakte bouwkuip
- Onderwaterbeton (1m dik)	304,00	m3	130,00	39.520,00	Oppervlakte bouwkuip
- Droogpompen bouwkuip	2.736,00	m3	0,25	684,00	Oppervlakte bouwkuip * 9 m ontgraving.
- Bouw betonwerk	179,00	m3	450,00	80.550,00	middenpijler = $2*4*0.5m + 2*35*0.5m + 2* 35*4*0.5m$ (179m3)
- Trekken bouwkuip middenpijler	304,00	m2	25,00	7.600,00	Oppervlakte bouwkuip
- Baggerwerk drempel	6.800,00	m3	5,00	34.000,00	Plaatselijk verlagings oppervlakte 2 drempels drempel * 2 m = $2* (34*50*2) = 6800$
- Uitvlakken drempel	3.400,00	m2	3,00	10.200,00	2 drempels = $2 * 35 * 50 = 3400$ m2
- Huur terrein bouwdok	2.052,00	m2/jaar	3,50	7.182,00	Oppervlakte bouwdok = $(\text{lengte drempel} + 4) * (\text{breedte drempel} + 4) = 38 * 54 = 2052$
- Maken kades om bouwdok	12.312,00	m3	22,00	270.864,00	Oppervlakte bouwdok * ontgravingdiepte = $2052 * 6 = 12312$ m3
- Werkvloer grind 10cm op doek	205,20	m3	11,33	2.323,89	Oppervlakte bouwdok* 0,1 m = 205,2 m3
- Betonconstructie	7.000,00	m3	450,00	3.150.000,00	Volume 2 drempels = $2* 35 * 50 * 2 = 7000$ m3
- Doorbaggeren dijk	2.280,00	m3	4,50	10.260,00	Helling 1:3 = 20 m van rivier vandaan * $6*0,5 * 38 = 2280$ m3
- Opdrijven en afzinken prefab drempel	2,00	post		-	

## G Uitvoering

---

- Onderspoelen constructie		m3		-	
- Aanvullen baggersleuf		m3		-	
- Afdichten en aansluiten prefab/vast		post		-	

