

De Gelderse Sluis: naar hogere sluitzekerheid

Onderzoek naar een oplossing voor de betrouwbaarheid van de sluiting in het kader van de vierde toetsingsronde



Bachelor Eindopdracht
Civiele Techniek

Annemarleen
Kersbergen — s1116290

1 mei tot 17 juli 2013

UNIVERSITEIT TWENTE.



De Gelderse Sluis: naar hogere sluitzekerheid

Onderzoek naar een oplossing voor de betrouwbaarheid van sluiting in het kader van de vierde toetsingsronde

A.M. Kersbergen (s1116290)

Eindverslag
Waterschap Vallei & Veluwe
Enschede, 8 augustus 2013

Begeleiders:
Bedrijfsbegeleider: J.T. Borgers (Waterschap Vallei & Veluwe)
Begeleidend docent: R.H. Buijsrogge (Universiteit Twente)

Samenvatting

De Gelderse Sluis is een uitwateringssluis in Noordeinde op de grens van Gelderland en Overijssel. De sluis is deel van de Randmeerdijk (dijkkring 11, IJsseldelta) en ligt aan het Drontermeer. Tijdens de wettelijke toetsing van de waterkeringen in 2010 is de Gelderse Sluis getoetst op hoogte, sterkte en stabiliteit en betrouwbaarheid van de sluiting. De sluis is goedgekeurd met de voorwaarde dat er een sluitingsprotocol werd opgesteld. Bij nader inzien bleek dit niet haalbaar. De oude schotbalken die bij de Gelderse Sluis horen kunnen niet geplaatst worden bij harde wind en bij stroming die voorkomt in het geval van inundatie. Er moet een beheermaatregel komen die ervoor zorgt dat de betrouwbaarheid van de sluiting tijdens de vierde toetsingsronde in 2017 voldoet.

Hoogwater bij de Gelderse Sluis ontstaat door opstuwing en golfoploop bij harde wind. De variabelen strijklengte, bodemdiepte, meerpeil, windsnelheid, windrichting, de schuifspanningscoëfficiënt en de helling van het talud van de dijk zijn van invloed. De opstuwing en golfoploop kunnen berekend worden met eenvoudige, statische vergelijkingen. Een nauwkeuriger resultaat geeft echter een berekening afhankelijk is van de tijd en wordt uitgerekend per cel in een rooster. Het model Promovera maakt gebruik van dynamische berekeningen en levert de waterstand en de golfoploop voor de hydraulische randvoorwaarden voor de Gelderse Sluis. De maatgevende waterstand is 2,1 m+NAP.

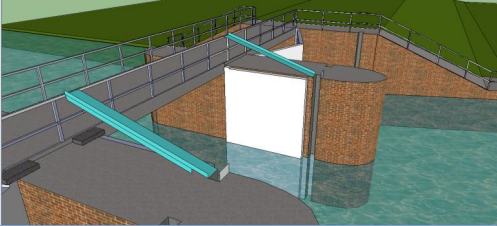
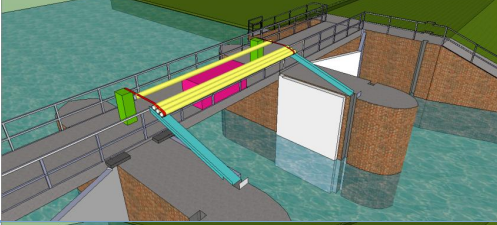
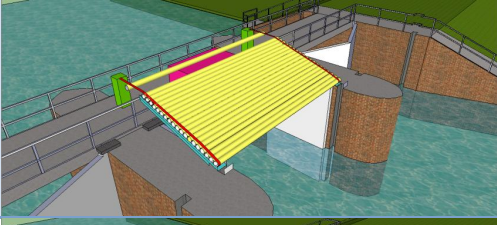
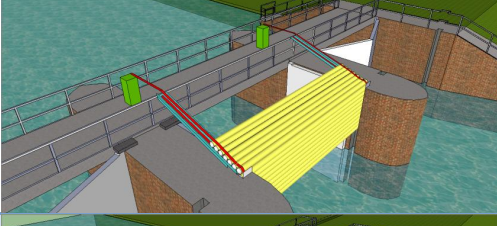
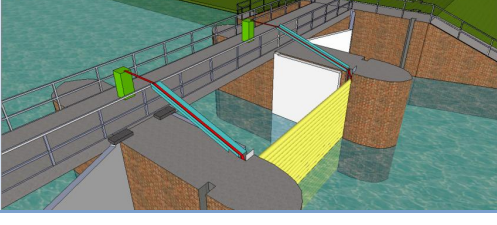
Voor het verbeteren van de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis gelden een aantal randvoorwaarden en eisen. De belangrijkste randvoorwaarde is dat de bewoners van de polder beschermd worden tegen overstromingen vanuit het Drontermeer. Het kunstwerk moet werken bij de hydraulische randvoorwaarden. De Gelderse Sluis moet voldoen aan de eisen die vanuit de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) gesteld worden aan waterkerende kunstwerken. Tevens is de sluis een gemeentelijk monument, waardoor het uiterlijk en karakter zoveel mogelijk hetzelfde moeten blijven. Het kanoverhuurbedrijf dat achter de sluis ligt, is gebaat bij een goede doorvaarbaarheid van de Gelderse Sluis.

Om de sluitzekerheid te verhogen moet het peil waarop de sluis nog niet hoeft te sluiten (het open keerpeil) verhoogd worden of moet er een tweede keermiddel komen. De kansrijke varianten van oplossingen voor de Gelderse Sluis zijn: een overloopgebied, buisschotbalken, een naaldkering en een drijvend caisson. Niet alle varianten kunnen zonder veel aanpassingen werken bij langdurige harde wind, stroming en golven. De buisschotbalkkering kan dit wel, en heeft, mede dankzij de eenvoud van de constructie, de voorkeur.

De buisschotbalkkering bestaat uit open, ronde stalen buizen, twee stalen rails waarop de buizen van het brugdek naar de sponningen rollen, spanbanden waaraan de buizen hangen en waarmee de kering omhoog en naar beneden kan worden gelaten en tenslotte twee lieren waaraan de spanbanden verbonden zijn. Voor de Gelderse Sluis moet ook een sluitingsprotocol zijn opgesteld. De werking van de buisschotbalkkering is weergegeven in tabel 1, specificaties in tabel 2.

Als de Gelderse Sluis met dit extra keermiddel wordt getoetst aan het Programma van Eisen en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) voldoet het ontwerp. Bij de eerste test is gebleken dat het ontwerp werkt, maar dat er nog verder onderzoek nodig is naar de uiteindelijke oplossing.

Tabel 1 Verschillende stappen in de sluiting van de buisschotbalkkering.

Werking van de buisschotbalkkering	
	De rails worden aangebracht op de sluismuren. Deze haken in de sponning en over het brugdek. De banden zijn aan de onderkant bevestigd aan een contragewicht op het brugdek of de reling, en aan de bovenkant aan de lier.
	De buizen worden vanuit de loods waar ze liggen opgeslagen naar het brugdek gebracht. Vanaf de kar worden ze op de rails gerold, waarop steeds ruimte vrijkomt door de spanbanden iets te laten vieren.
	Zo worden de buizen op de rails gelegd en zakt de kering steeds een stuk naar beneden.
	Bij de sponning aangekomen wordt het gewicht op de banden groter, en door gecontroleerd de band te laten vieren, zakken de buizen in de sponning.
	Als de eerste buis op de bodem is aangekomen, is de opening afgesloten. De banden blijven zitten zodat de buizen ook weer naar boven kunnen worden gehaald. De buizen zijn open en lopen dus vol met water.

Tabel 2 Specificaties van de onderdelen van de buisschotbalkkering

Specificaties	
Buizen	Twintig buizen van 7,2 m (diameter 24,45 cm, dikte 0,71 cm), 300 kg per stuk, 5990 kg in totaal
Rails	Twee keer een staalplaat van 25 cm breedte met een opstaande rand aan de boven en de onderkant (T-profiel 90° gedraaid 150 x 100 x 250 x 5 x 5 mm).
Spanbanden	Twee banden van 20 meter lang, sterkte 3000 kg
Lieren	Twee lieren met een sterkte van 1500 kg
Kar	Draagvlak op één meter hoogte. Sterkte minimaal 300 kg.
Sluitingsprotocol	Dit bevat informatie over handelen bij hoogwateralarmering, mobilisatie, sluiting en storingen.
Kosten	Geschat aan materialen : € 25.112,-

Voorwoord

In april 2013 is het eerste contact over het onderzoek dat nu voor u ligt ontstaan. Ik was op zoek naar een stageplek en het Waterschap Vallei en Veluwe had misschien wel iets liggen. Na een gesprek met Eddy Steenbergen en Joost Borgers is de opdracht geformuleerd om een oplossing te zoeken voor de Gelderse Sluis, waarvan bleek dat de huidige keermiddelen niet voldoende zijn om de betrouwbaarheid te garanderen. Vooral mijn voorkeur voor ontwerpen zou in deze opdracht goed terecht komen. Dit is ook zeker gebleken in de afgelopen elf weken, dit zult u zien en lezen in het rapport dat nu voor u ligt.

Met dit onderzoek rond ik mijn bachelor Civiele Techniek af, waar ik de afgelopen drie jaar mee bezig ben geweest. Gelukkig is het studeren nog niet over; de komende jaren ga ik mij verder verdiepen in waterzaken in de master Water Engineering & Management die ik ga volgen aan de Universiteit Twente.

Tijdens het onderzoek heb ik hulp gehad van een aantal mensen die ik hier graag voor wil bedanken. Henk Boeve, Peter Boone, Rob Nijman en Jaap Petersen hebben mijn ideeën vanuit de beheerkant bekeken en beoordeeld. Dit heeft mijn ontwerp vooruit geholpen. Ik wil mijn begeleiders Joost Borgers, René Buijsrogge en vervangend begeleider bij het Waterschap Reindert Stellingwerff bedanken voor de begeleiding en voor dat ik altijd bij hen terecht kon voor vragen. En als laatste wil ik Arjan Verboom bedanken. Zonder zijn rondvragen, was de opdracht niet tot stand gekomen.

Enschede, 8 augustus 2013

Annemarleen Kersbergen

Inhoudsopgave

Samenvatting 2

Voorwoord 4

1.	Inleiding	6
2.	Achtergronden	8
	2.1 Het watersysteem	8
	2.2 Historie	8
	2.3 De huidige constructie	9
3.	Toetsingsprocedure	10
	3.1 Voorschrift Toetsen op Veiligheid & Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen	10
	3.2 Toetsing Gelderse Sluis	10
	3.3 Na de toetsing	12
4.	Hydraulische Randvoorwaarden	13
	4.1 Benadering windopzet en golven	13
	4.2 Drontermeer	14
5.	Programma van Eisen	16
6.	Maatregelen	16
	6.1 Oplossingsrichtingen	16
	6.2 Alternatieven	17
	6.3 Kansrijke varianten	21
7.	Afweging en voorkeursalternatief	24
	7.1 Afweging	24
	7.2 Voorkeursalternatief	25
8.	Ontwerp van buisschotbalkkering	26
	8.1 De buisschotbalkkering	26
	8.2 De constructie	28
	8.3 Sluitingsprocedure	30
9.	Toetsing	32
10.	Conclusie	33
11.	Aanbevelingen	34
	Literatuurlijst	36
	Bijlage 1 Figuren situatie Gelderse Sluis	36
	Bijlage 2 Promovera	40
	Bijlage 3 Programma van Eisen	43
	Bijlage 4 Inpassing van kansrijke varianten	49
	Bijlage 5 Criteria	55
	Bijlage 6 Constructieberekeningen	56
	Bijlage 7 Sluitprotocol Gelderse Sluis	64
	Bijlage 8 Foto's van de test op 15 juli 2013	67

1. Inleiding

Één van de taken van een Waterschap is het zorgen voor veilige waterkeringen. Een stevig uitziende sluis, zoals de Gelderse Sluis, behoort hier ook toe. Maar wat nu, als het helemaal niet zeker is of die zware deuren van de sluis wel goed gesloten kunnen worden als het nodig is?

Nederland kent veel waterkeringen. We zijn zelfs beroemd om de strijd tegen het water. Om laaggelegen gebieden te beschermen tegen het water van zeeën, meren, rivieren en andere wateren zijn er verschillende dijkeringen gemaakt. Één van deze dijkeringen is de dijk om de IJsseldelta (dijkring 11) die bestaat uit een deel langs de IJssel en een deel langs de Randmeren. Dit laatst genoemde deel is een kering van de categorie c en behoort deels tot het beheergebied van het Waterschap Vallei en Veluwe. In deze waterkering, op de grens van Gelderland en Overijssel, bevindt zich de Gelderse Sluis. Op het kaartje in figuur 1 is de locatie van de Gelderse Sluis te zien. Dit waterkerende kunstwerk ligt bij het plaatsje Noordeinde (gemeente Oldebroek). Het is een uitwateringssluis met drie openingen. Bij hoog water op het Drontermeer worden de puntdeuren gesloten om de achterliggende polders te beschermen. De Gelderse Sluis staat op de gemeentelijke monumentenlijst van Oldebroek.



Figuur 1 Locatie en bovenaanzicht van de Gelderse Sluis te Noordeinde.

Probleemstelling

In 2010 is de Gelderse Sluis getoetst aan de wettelijke normen voor waterkeringen. Het was de eerste keer dat ook de categorie c-keringen werden getoetst volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Er werd gekeken naar de hoogte, de sterkte en stabiliteit en betrouwbaarheid van de sluiting. De sluis is goedgekeurd met de voorwaarde dat er een sluitingsprotocol wordt opgesteld. Dit sluitingsprotocol is belangrijk voor de betrouwbaarheid van de sluiting omdat er dan meer kans is dat de sluis op een goede manier gesloten wordt bij hoog water. Na de toetsing, toen er werd nagedacht over het protocol, kwam men erachter dat het gebruik van de oude schotbalken, dat in de toetsing was beschreven, niet haalbaar is. Het oordeel van de sluis uit de toetsing is nu voldoende, maar als er geen maatregel komt, wordt dit tijdens de toetsing in 2017 onvoldoende.

Doel

Het doelt van dit onderzoek is om een maatregel te ontwerpen waarmee de Gelderse Sluis in 2017 aan alle eisen voor de waterkeringen voldoet. De doelstelling is om een effectieve maatregel te ontwikkelen tegen lage kosten, die de omgeving zoveel mogelijk intact laat.

Aanpak

De hoofdvraag en de stappen om hiertoe te komen zijn:

Hoe kan de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis gegarandeerd worden?

- De omgeving en de achtergrond van de Gelderse Sluis wordt geanalyseerd. Zo ontstaat een kader waar het ontwerp in moet passen.
- De toetsing van de sluis uit 2010 wordt besproken.
- De randvoorwaarden en eisen waarbinnen de sluis moet werken en waaraan de sluiting moet voldoen worden verzameld.
- Er worden een aantal oplossingsrichtingen met alternatieven beschreven. Deze gelden voor alle kunstwerken, maar zijn specifiek benaderd vanuit het oogpunt van toepasbaarheid in de Gelderse Sluis.
- Er worden criteria opgesteld waaraan kansrijke alternatieven getoetst worden.
- Uit de kansrijke alternatieven komt een voorkeursalternatief, waarvan het ontwerp wordt gemaakt. Hierbij worden belastingen geanalyseerd en toegepast in het ontwerp. Ook wordt een schatting gemaakt van de kosten.
- Om een inschatting te maken van het toetsingsverloop bij de volgende toetsronde, wordt de Gelderse Sluis, met inpassing van het ontwerp, getoetst.

Afbakening

In dit onderzoek wordt uitsluitend de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis onderzocht. Er zijn geen oplossingen voor andere kunstwerken gemaakt, al kan dit rapport natuurlijk wel als inspiratie dienen. Er is niet gekeken naar de andere toetssporen waarop getoetst wordt. Deze zijn als 'voldoende' beoordeeld, en er wordt aangenomen dat dit een juiste conclusie is. Er is met een blik vanuit het Waterschap Vallei en Veluwe naar dit probleem gekeken. Andere partijen zoals de gemeente Oldebroek, de monumentencommissie en de omwonenden zijn niet bij het onderzoek betrokken, er is wel rekening gehouden met de verwachte eisen en wensen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt informatie gegeven over het watersysteem en de historie en de constructie van de Gelderse Sluis en in hoofdstuk 3 over de toetsing, onder andere van de betrouwbaarheid van de sluiting. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de randvoorwaarden die spelen bij hoogwater. De andere randvoorwaarden en de eisen zijn samengevat in hoofdstuk 5. Verschillende oplossingsrichtingen en alternatieven passeren in hoofdstuk 6 de revue en uit de meest kansrijke alternatieven wordt in hoofdstuk 7 een voorkeursalternatief gekozen die het beste aan de criteria voldoet. Het ontwerp voor dit alternatief is uitgewerkt in hoofdstuk 8, waar de werking, de dimensies en de kosten worden besproken. Toetsing aan het Programma van Eisen, het Voorschrift Toetsen op Veiligheid en de praktijk gebeurt in hoofdstuk 9. Tenslotte vindt u de conclusies in hoofdstuk 10 en de aanbevelingen in hoofdstuk 11.

2. Achtergronden

In dit hoofdstuk worden de omgeving en de achtergronden van de Gelderse Sluis beschreven. In paragraaf 2.1 wordt het watersysteem waarin de sluis zich bevindt, uitgelegd. De historie van de sluis komt aan bod in paragraaf 2.2 en in paragraaf 2.3 wordt ingegaan op de huidige constructie en de gebruikte materialen.

2.1 Het watersysteem

Het water dat door de Gelderse Sluis stroomt, komt uit de Uitvliet. Deze stroomt vanaf het gemaal De Wenden naar het Drontermeer. Dit gemaal bemaalt de polders Oldebroek en Oosterwolde (Gemeente Oldebroek, 2001), en krijgt het water aangevoerd via de Gelderse gracht. Een kaart van het watersysteem is te vinden in figuur 14 in bijlage 1.

De Gelderse Sluis bevindt zich in de Randmeerdijk. Deze dijk is een primaire waterkering van categorie c (keringen die niet direct buitenwater keren) (Rijkswaterstaat, 2013). Het IJsselmeer geldt als direct buitenwater en omdat de Veluwerandmeren hiervan zijn gescheiden, door de Roggebotsluis in het noorden en de Nijkerkersluis aan de zuidkant, keert de Randmeerdijk niet direct buitenwater. De Gelderse Sluis is deel van dijkkring 11 (IJsseldelta). Voor waterkeringen zijn verschillende normen opgesteld, afhankelijk van de wateren waar ze aan grenzen en het economisch belang van het gebied. Dijkkring 11 ligt aan de IJssel en aan de Randmeren en heeft een veiligheidsnorm van 1/2000 per jaar (Waterwet, 2009). Dit is de gemiddelde overschrijdingskans van de hoogste hoogwaterstand waarop de kering berekend moet zijn.

De waterkerende functie van de Gelderse Sluis

In normale omstandigheden voert de sluis het water dat vanaf het gemaal naar het Drontermeer stroomt door via één opening. De andere twee stel deuren zijn gesloten om een hogere doorstroomsnelheid te creëren en dit wordt geregeld afgewisseld om ophoping van zand en andere obstakels te voorkomen. Als het peil in het Drontermeer te hoog wordt om binnendijs gekeerd te worden, gaan de deuren dicht (1 m+NAP is het open keerpeil, het peil dat het binnendijkse systeem nog kan keren waarbij het kunstwerk nog niet gesloten is). Zo worden de achterliggende polders beschermd tegen overstromingen. Er is een groot gebied dat lager dan de maatgevende hoogwaterstand ligt. In figuur 15 in bijlage 1 is een inundatiekaart te vinden.

2.2 Historie

De Gelderse Sluis is aangelegd in 1825 toen het gebied nog aan de Zuiderzee was gelegen. Na een aantal grote overstromingen werd door het Rijk de Dronteroverlaat gebouwd. Deze dijk met flauwe taluds zorgde ervoor dat het water op een minder schadelijke manier het land instroomde. De Gelderse Sluis werd gebouwd om het water na de overstroming snel weer kwijt te kunnen raken uit het gebied van ruim 11.000 hectare (Van der Schrier, 2008). Men vermoedt dat de sluis meteen tot dijkhoogte waterkerend is gemaakt zodat ze dan niet als overlaat zou gaan werken (Historisch Centrum Overijssel, 2013). In dezelfde periode is ook de Prinsensluis in het Venerietekanaal bij Genemuiden gebouwd. Deze sluis en de Gelderse Sluis zijn op basis van dezelfde bouwtekening gebouwd.

De IJssellinie

In de jaren 1950 tot 1952 werd de Gelderse Sluis onderdeel van de IJssellinie (Waterschap Veluwe, 2012). In de Koude Oorlog zouden inundaties van gebieden langs de IJssel ervoor moeten zorgen dat

de Russen werden tegengehouden als ze richting het westen zouden trekken. De polder Kamperveen zou onder water worden gezet door inlaat via de Gelderse Sluis en de Dronthense sluis met water uit het IJsselmeer. Omdat de sluis gebouwd was om water uit te laten in plaats van binnen te houden werd het, zoals veel kunstwerken, door het Ministerie van Defensie van schotbalkspanningen voorzien en van een loods om de schotbalken in op te slaan (Historisch Centrum Overijssel, 2013). Het is nooit nodig geweest om de IJssellinie in werking te stellen en in 1968 werd de linie definitief opgeheven (Ontdek de IJssellinie, 2012).

De Gelderse Sluis is daarna buiten gebruik geraakt en ze werd niet meer bediend. Op een foto uit eind jaren zeventig (zie figuur 16, bijlage 1) is te zien dat de twee buitenste openingen afgesloten zijn met de schotbalken en de middelste doorgang open is. Er waren twee stel puntdeuren aanwezig in de middelste opening: één van staal, ongedateerd, en één stel houten deuren die in 1950 geplaatst zijn (Rijksdienst voor de Monumentenzorg, 1992). In 1992 en 1996 hebben er restauraties plaatsgevonden en zijn er houten deuren in alle openingen geplaatst. De schotbalken zijn gebleven als tweede keermiddel en de loods is overgedragen aan het Waterschap. Die wordt op dit moment gebruikt als opslag- en werkplaats.

2.3 De huidige constructie

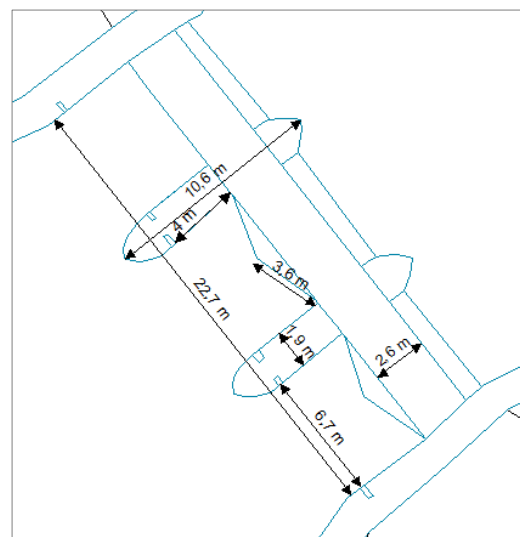
In het bestaan van de sluis zijn door de jaren heen verschillende materialen gebruikt en toegevoegd. Hierover zijn weinig gegevens beschikbaar. Het materiaalgebruik moet dus beschreven worden aan de hand van observatie en met behulp van het rapport Historische Kunstwerken – Hulpmiddelen voor toetsers van Stowa (2006).

De Gelderse Sluis heeft landhoofden en sluismuren van metselwerk. Bij dit constructietype is het zeer waarschijnlijk dat er een fundering op houten palen is gebruikt met houten kwelschermen (Stowa, 2006). De sluishoofden zijn afgerond en hebben een versteviging van natuursteen. De muren en landhoofden zijn afgedekt met een betonnen laag (Gemeente Oldebroek, 2001). Het materiaalgebruik voor de drempel van de sluis is onbekend. Op basis van gelijkvormigheid met de Prinsensluis wordt uitgegaan van een ondergrond van zetsteen aan de binnenzijde en een drempel van hout en beton. In de loop der jaren is het metselwerk op enkele plekken vervangen en zijn er muurdammen toegevoegd (Gemeente Oldebroek, 2001). Bij de meest recente renovatie zijn de sluisdeuren vervangen. Deze zijn vervaardigd van hout en hebben dezelfde afmetingen en elementopbouw als de oude deuren (Tauw, 2010). Een deel van de schotbalken is ook van hout, het andere deel is gemaakt van staal. Deze schotbalken zijn opgeslagen in de openlucht en zijn in slechte conditie.

Afmetingen

De afmetingen van de Gelderse Sluis zijn te zien in figuur 2. De drempeldiepte van de sluis is -2 m+NAP. De kerende hoogte van de deuren is 2,98 m+NAP (Waterschap Vallei & Veluwe, 2013).

Figuur 2
Bovenaanzicht met
afmetingen Gelderse
Sluis (GBKN)



3. Toetsingsprocedure

In het kader van de wettelijke toetsing is de Randmeerdijk in 2010 voor het eerst getoetst aan de toetssporen zoals gesteld in het Voorschrift Toetsen op de Veiligheid (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). In paragraaf 3.1 wordt eerst de toetsingsmethode uitgelegd en daarna wordt in paragraaf 3.2 de toetsing van de Gelderse Sluis behandeld.

3.1 Voorschrift Toetsen op Veiligheid & Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen

Vanuit de wet is er geen verplicht toetsingsinstrumentarium voor de categorie c-keringen. Ze moeten alleen dezelfde veiligheid garanderen als het geval was op 15 januari 1996, het moment van inwerkingtreding van de oude Wet op Waterkeringen (Waterwet, 2009). Op deze manier zijn de dijken en de kunstwerken ook getoetst in de eerste en de tweede toetsingsronde. Er was echter wel behoefte aan een specifieke toetsingsmethode voor primaire waterkeringen van de categorie c, en daarom is in 2006 het Voorschrift Toetsen op Veiligheid uitgebreid met een addendum met betrekking op categorie c- keringen. Hieruit vloeit ook een uitbreiding op de Hydraulische Randvoorwaarden voort. Deze zijn gebruikt in de derde toetsronde (2006-2011) en bestaan uit maatgevende waterstanden op verschillende locaties die horen bij de norm. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de berekening hiervan. In het addendum op Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen c (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008) worden voor de beoordeling van kunstwerken niet veel wijzigingen ingebracht. Dezelfde toetssporen als voor andere primaire waterkeringen voor Hoogte, Stabiliteit en Sterkte en Betrouwbaarheid Sluiting worden gevolgd.

3.2 Toetsing Gelderse Sluis

Toetsing van waterkerende kunstwerken gebeurt op drie sporen (Hoogte, Stabiliteit en Sterkte en Betrouwbaarheid Sluiting). Het laagste resultaat is leidend voor de beoordeling van het totale kunstwerk.

Hoogte

Kunstwerken worden op hoogte getoetst of ze de maatgevende hoogwaterstand kunnen keren en of er niet te veel overslag plaatsvindt. Er is getoetst met een geschatte hoogte van de deuren van 2,70 m+NAP (Tauw, 2010)(dit is in werkelijkheid 2,98 m+NAP, maar deze gegevens waren niet bekend bij de toetsers). Voor het opstellen van de Hydraulische Randvoorwaarden zoals de maatgevende hoogwaterstand en de overslagdebieten wordt gebruik gemaakt van het probabilistisch model Promovera, dat speciaal is ontwikkeld voor de Veluwerandmeren. Dit model wordt besproken in hoofdstuk 4 en bijlage 2. De maatgevende hoogwaterstand is 2,1 m+NAP. De marge is dus groot genoeg (groter dan de grenswaarde 30 centimeter), en er wordt de score 'voldoende' gegeven.

Sterkte en Stabiliteit

De sterkte en stabiliteit van kunstwerken hebben te maken met de kans op het begeven van de constructie door de voorkomende belastingen. Er wordt getoetst op de stabiliteit van de constructie en het grondlichaam, de sterkte van de (waterkerende) constructieonderdelen en op piping en heave (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Veel gegevens zijn niet bekend van de Gelderse Sluis. Omdat de sluis een oude Zuiderzeesluis is en in het verleden een hogere belasting heeft doorstaan dan nu maatgevend is en er geen aanwijzingen van verval zijn, wordt een 'voldoende'-oordeel gegeven. De nieuwe deuren zijn naar ontwerp van de oude deuren gemaakt, dus ook hiervoor geldt dat ze hun sterkte hebben bewezen. Voor de kwelweglengte worden schattingen gemaakt. Er wordt

vanwege de afmetingen van de sluis uitgegaan van drie houten kwelschermen. Hiermee voldoet de sluis ook aan de criteria voor onderloopsheid.

Betrouwbaarheid sluiting

De hoogte, sterkte en stabiliteit spelen allemaal geen rol meer als de sluiting niet eens tot stand kan komen. Daarom wordt ook getoetst op de betrouwbaarheid van de sluiting; de kans dat de kering niet gesloten kan worden. De betrouwbaarheid van de sluiting hangt af van het hoogwaterwaarschuwingssysteem, de mobilisatie van personeel, de kans op bedieningsfouten en de kans op het technisch falen van de sluiting.

Omdat er geen specificaties uit de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) gebruikt zijn bij het ontwerp, wordt het onderdeel Betrouwbaarheid van de Sluiting getoetst met de gedetailleerde toetsing. De gedetailleerde toetsing maakt gebruik van de overbelastingsbenadering uit de Leidraad Kunstwerken. Hierin wordt gesteld dat de kans op falen van de sluiting kleiner moet zijn dan 0,1 maal de geldende norm (1/2000 in het geval van de Gelderse Sluis).

De faalkans bestaat uit vermenigvuldiging van de kans dat het kunstwerk gesloten moet worden en de kans op falen van de sluiting. De kans dat het peil hoger wordt dan 1 m+NAP is gemiddeld 1/ 7,5 per jaar. Voor de kans op niet sluiten (P_{ns}) zijn scoretabellen voor vier subsystemen opgesteld. De scores voor de Gelderse Sluis zijn te vinden in tabel 3. Bij het invullen van de scores worden de bestaande schotbalken als tweede keermiddel beschouwd.

Tabel 3 Uitkomsten van doorlopen scoretabellen uit Leidraad Kunstwerken voor de subsystemen voor de Gelderse Sluis.

Subsysteem	Score	Maximale score
Hoogwaterwaarschuwingssysteem	0,5	10
Mobilisatie	1	4
Bedieningsfout	2	4
Technisch falen	2,5	4

Het waarschuwingssysteem heeft de laagste score, en is dus maatgevend gebruikt. De gemiddelde kans op niet sluiten wordt:

$$P_{ns} = 10^{-1 * \text{laagste score}} = 10^{-0,5} = \frac{1}{3,1} \text{ per jaar}$$

Met een overschrijdingsfrequentie van het open keerpeil van 1,0 m+NAP van 1/7,5 per jaar is de gemiddelde kans op falen:

$$P_{fa} = \frac{1}{3,1} * \frac{1}{7,5} = \frac{1}{24} \text{ per jaar (gemiddeld 1 keer in de 24 jaar)}$$

Dit is niet kleiner dan 0,1 maal de norm (1/2000 per jaar). Op dit moment zou de geavanceerde toetsingsprocedure (ook te vinden in de Leidraad Kunstwerken) ingezet kunnen worden. Dit is niet gedaan, omdat de verwachting was dat dit niet tot een voldoende oordeel gaat leiden, omdat er geen sluitingsprotocol aanwezig is (Tauw, 2010). De verwachting was dat bij de aanwezigheid van een sluitingsprotocol de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis voldoende was.

3.3 Na de toetsing

Het advies na de toetsing is dat er voor het kunstwerk een schriftelijke procedure voor de sluiting moet worden opgesteld. Omdat er vóór de peildatum (1 januari 2011) een procedure zou zijn opgesteld, werd het oordeel 'goed' gegeven. Dit oordeel is dan ook in de officiële rapportage terecht gekomen. Bij het opstellen van dit protocol door het Waterschap is gebleken dat in het sluitingsprotocol de bestaande schotbalken niet meegenomen kunnen worden. Het is niet haalbaar om de sluisopening af te sluiten door met een kraan vanaf de kant de rechthoekige schotbalken in de sponningen te laten zakken. Kranen kunnen werken tot windsnelheden van 15 m/s (Stichting Arbow), terwijl bij de Gelderse Sluis juist ook hogere windsnelheden zorgen voor hoogwater. Dan moet de opening ook afgesloten kunnen worden. Een ander voorkomend probleem bij inundatie is dat de schotbalken door de stroming tegen de sponningen worden gedrukt, waardoor ze niet meer zakken door de grote wrijvingsweerstand. De oude schotbalken zijn ook niet bedoeld voor inzet als tweede keermiddel bij calamiteiten; de schotbalkkering is aangebracht om te dienen in de IJssellinie (zie paragraaf 2.2). De opgave voor het Waterschap voor de vierde toetsingsronde in 2017 is nu om een beheermaatregel te ontwerpen en te construeren die ervoor zorgt dat het oordeel over de sluitzekerheid van de Gelderse Sluis dan voldoende is.

4. Hydraulische Randvoorwaarden

De Hydraulische Randvoorwaarden voor de Gelderse Sluis bestaan uit de voorkomende hoogwaterstanden en gegevens over de golven. Deze zijn opgesteld met behulp van het probabilistisch model Promovera. In dit hoofdstuk worden met eenvoudige benaderingen de waterstand en de golfhoogte berekend en vergeleken met de output van het model Promovera. De werking van dit model is beschreven in bijlage 2. In paragraaf 4.1 wordt eerst de theorie met betrekking tot windopzet en golfoploop besproken en daarna (paragraaf 4.2) wordt de theorie toegepast op het Drontermeer en de maatgevende omstandigheden voor de Gelderse Sluis.

4.1 Benadering windopzet en golven

Variabelen

Er zijn verschillende variabelen die een rol spelen bij windopstuwing of windopzet en golfoploop. Deze staan beschreven in tabel 4. De opzet en golfoploop vinden altijd in de richting van de wind plaats.

Tabel 4 Variabelen in de windopzet.

Variabelen voor windopzet en golfoploop			
Strijklengte	F	Dit is de lengte waarover de wind waait.	m
Bodemhoogte	BH	De ligging van de bodem van het meer.	m+NAP
Meerpeil	P	De gemiddelde waterstand op het meer.	m+NAP
Windsnelheid	V	De snelheid van de maatgevende wind.	m/s
Windrichting		De windrichting ten opzichte van het noorden.	° ten opzichte van het noorden
Schuiфspannings-coëfficiënt	C_f	Deze is afhankelijk van eigenschappen van het water en de wind.	-
Helling van het talud	α	De helling van het talud van de randmeerdijk	°

Windopzet

Een manier om de windopzet S te berekenen is met behulp van de volgende vergelijking (Roberson, Cassidy, & Chaudhry, 1988). Deze vergelijking is afgeleid van de krachtenbalans.

$$S = \frac{\gamma_a C_f}{\gamma_w} \frac{V^2 F}{8 g (P - BH)}$$

Met γ_a = dichtheid van de lucht
 γ_w = dichtheid van het water
 g = zwaartekrachtsversnelling (9,81 m/s²)

Golfhoogte en golfoploop

Voor golven kan de significante golfhoogte H_s worden geschat door te kijken naar gemiddelde waardes bij een bepaalde windsnelheid (tabel in Roberson et al., 1988). De golfhoogte waar mee gerekend wordt (H), is nog 40% hoger dan H_s .

De golfperiode T is de tijd tussen twee golven en kan benaderd worden met de formule (Roberson et al., 1988, NB: deze is gebaseerd op afstanden in ft):

$$T = 0,429 V^{0,44} * F^{0,28} / g^{0,72}$$

Hiermee kan de golfoploop R in ft worden berekend (Hughes, 2004).

$$R = 2,3 * \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{T^2}}} * H$$

In werkelijkheid zijn de windopzet en de golfhoogte afhankelijk van meer variabelen. Zo treedt er ook circulatie van water op door de windschuifspanning, dit beïnvloedt de opstuwung.

4.2 Drontermeer

Om de waterstanden op de locatie van de Gelderse Sluis te kunnen voorspellen worden vergelijkbare berekeningen uitgevoerd als in paragraaf 3.1 beschreven. Deze berekeningen zitten in het model Promovera (Rijkswaterstaat, 2004), dat speciaal is ontwikkeld voor de Veluwerandmeren. De input, output en de processen binnen dit programma staan beschreven in bijlage 2. De variabelen die in paragraaf 3.1 zijn genoemd, worden hier besproken voor het Drontermeer. Dit is ook deel van de input van Promovera.

Strijklengte

Bij de maatgevende windrichting loodrecht op de Gelderse Sluis is de strijklengte ongeveer één kilometer.

Bodemhoogte

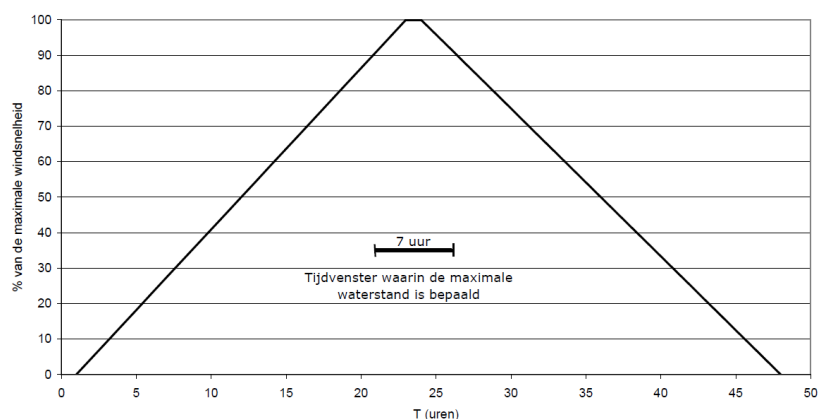
De bodemligging van het Drontermeer is niet helemaal bekend. De vaargeul ligt dicht tegen Flevoland aan en is op dit moment -3 m+NAP. Er is op 10 april 2012 een vergunning verleend door de Provincie Flevoland om de vaargeul te verdiepen tot -6 m+NAP (Provincie Flevoland, 2012). Naast de vaargeul loopt de bodem flauw op naar de keringen. Bij de drempel van de Gelderse Sluis wordt het weer dieper. Dit is gemodelleerd met een aantal meetpunten.

Meerpeil

Het zomerstreefpeil op het Drontermeer is -0,10 m+NAP. Het winterstreefpeil is -0,30 m+NAP. (Rijkswaterstaat, 2004). Dit zijn de peilen waarop het Drontermeer gehouden wordt door het spuien van water bij de sluizen naar het IJsselmeer. De maatgevende situatie valt in de winter, dus het peil is -0,3 m+NAP.

Windsnelheid en -richting

Wind is de belangrijkste factor voor de optredende hoogwaterstanden in het noordelijke deel van de Veluwerandmeren. De wind die zorgt voor de maatgevende hydraulische belasting heeft een snelheid van 33 m/s (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008) en staat loodrecht op de randmeerdijk (240 ° ten opzichte van het noorden). Deze combinatie van windrichting en windsnelheid heeft een terugkeertijd van 12490 jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008). De storm waar in Promovera



Figuur 3 Het windverloop Ongeldige bron opgegeven.

mee gerekend wordt heeft een duur van 48 uur. Hierin loopt de wind in 23 uur op, is twee uur op zijn maximum en loopt dan weer in 23 uur af (zoals figuur 3). Het is niet erg waarschijnlijk dat de wind een zo lange periode zo lang uit dezelfde richting komt, maar dit is wel aangenomen bij de berekeningen.

Helling van het talud

De helling van het talud van de randmeerdijk waar in de toetsing mee gerekend is, is 1:6,6. Dit is gelijk aan een hoek van 8,6 °.

Opstuwing bij de Gelderse Sluis

De windopzet S en golfploop R bij de Gelderse Sluis worden berekend met de eenvoudige methode. De volgende waarden zijn gebruikt voor de variabelen:

$\frac{\gamma_a C_f}{\gamma_w 8} = \text{constant} = 2,025 * 10^{-6}$ (Uit onderzoek is gebleken dat dit een waarschijnlijke waarde is voor reservoirs (Roberson, Cassidy, & Chaudhry, 1988)) $V = 33 \text{ m/s} = 107 \text{ ft/s}$ $F = 1000 \text{ m} = 3274 \text{ ft}$ $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 32,2 \text{ ft/s}^2$ $D = (P-BH) = -0,3 - -1,4 = 1,1 \text{ meter}$ $H_s = 0,79 \text{ m} = 2,6 \text{ ft}$ $H = 1,1 \text{ m} = 3,64 \text{ ft}$ $T = 2,65 \text{ s}$
--

Dit resulteert in een opzet S van 2 meter en een golfploop R van 0,54 m (1,76 ft). Bij een meerpeil van -0,3 m+NAP zorgt dit voor een waterstand van 1,7 m+NAP met golfploop tot 2,24 m+NAP. De waterstand die Promovera geeft bij dezelfde windsnelheid is 2,1 m+NAP. Dit is hoger dan berekend met de eenvoudige formule. Ook de golfploop zorgt bij Promovera tot een hogere hydraulische belasting, dit bedraagt 3,03 m+NAP. Oorzaak dat uit Promovera hogere waarden komen dan dat met eenvoudige formules berekend is, is dat er complexere berekeningen worden uitgevoerd met andere (meer nauwkeurigere) waarden. Ook wordt er rekening gehouden met circulatie door windopstuwing. Uit deze vergelijking van resultaten blijkt dat Promovera een hogere waterstand en golfploop berekend. Wel liggen de resultaten in hetzelfde bereik en met de wetenschap dat Promovera een nauwkeurigere, dynamische benadering gebruikt, worden de resultaten hieruit als maatgevend genomen.

5. Programma van Eisen

Uit de Leidraad Kunstwerken, Promovera en de omgeving volgen een aantal randvoorwaarden, eisen en wensen voor de Gelderse Sluis. Deze zijn te vinden in bijlage 3.

Randvoorwaarden

De algemene randvoorwaarde is dat de Gelderse Sluis voldoende bescherming biedt tegen overstromingen vanuit het Drontermeer. De bescherming wordt geboden binnen de randvoorwaarden van de voorkomende waterstanden, golven en wind, de omgevingsaspecten zoals het achterliggend watersysteem, de bodemopbouw, de bereikbaarheid en de bebouwing en de wetgeving die van toepassing is.

Eisen

Eisen hebben betrekking op de constructie (de hoogte, sterkte, stabiliteit en de betrouwbaarheid van de sluiting), de bereikbaarheid, de uitvoering en het gebruik en onderhoud.

Wensen

De wensen komen van de omwonenden die uitzicht hebben op de sluis en het kanoverhuurbedrijf dat afhankelijk is van de doorvaarbaarheid van de sluis.

6. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden maatregelen geanalyseerd die kunnen zorgen voor een hogere sluitzekerheid voor de Gelderse Sluis. In paragraaf 6.1 worden verschillende oplossingsrichtingen geboden. Vervolgens wordt in paragraaf 6.2 een aantal alternatieven genoemd binnen de oplossingsrichtingen, waarvan de meest kansrijke in paragraaf 6.3 uitgewerkt zijn.

6.1 Oplossingsrichtingen

In hoofdstuk 3 is de overbelastingsbenadering genoemd. Onderstaand blok geeft de methode weer:

$P_{fa} = P\{V_{open} < V_{toel}\} = P_{ns} * N\{V_{open} > V_{toel} n_s\} = P_{ns} * n_j < 0,1 * norm$	
<i>met:</i>	
$P_{fa} =$	<i>Kans op falen van het kunstwerk ten gevolge van falend afsluitmiddel [1/jaar]</i>
$P_{ns} =$	<i>Kans op falen van het sluitproces [1/vraag]</i>
$n_j = N\{V_{open} > V_{toel} n_s\} =$	<i>Frequentie van overschrijding van het toelaatbaar instroomvolume bij een geopend kunstwerk [vragen/jaar]</i>
$norm =$	<i>De ontwerp- of normfrequentie zoals vastgelegd in de Waterwet [1/jaar]</i>

Deze formule volgt uit eis 2.1.3 Betrouwbaarheid van de sluiting (bijlage 3): “De gemiddelde kans op het overschrijden van het toelaatbaar instromend volume bij een geopend kunstwerk moet kleiner zijn dan 1/20 000 per jaar (=0,1 * 1/2000 per jaar)”. De faalkans hangt af van twee aspecten: de kans dat het sluiten faalt en de kans dat de waterstand hoger is dan het peil wat het binnensysteem kan keren. Om de faalkans te verkleinen zijn er dus drie verschillende mogelijkheden:

1. Het verkleinen van de kans op overschrijding van het open keerpeil (het peil waarbij het kunstwerk nog niet gesloten hoeft te worden).

Hiervoor moet het open keerpeil verhoogd worden. Dan hoeft de kering minder vaak dicht en is er minder kans dat de sluiting faalt.

2. Het verkleinen van de kans op het niet sluiten van de kering.

Dit kan bijvoorbeeld door een goed alarmeringssysteem, een mobilisering die goed beschreven staat en wordt geoefend, een goede procedurebeschrijving van de sluiting en een geteste bedrijfszekerheid van de sluitmiddelen. Dit zijn aspecten die verbeterd kunnen worden aan de huidige sluitmiddelen, maar er kan ook een tweede (onafhankelijk) keermiddel worden ingezet.

3. Een combinatie van 1 en 2.

6.2 Alternatieven

Per oplossingsrichting zijn alternatieven beschreven. De meest kansrijke zijn in groen aangegeven. Degene die niet toepasbaar zijn in de Gelderse Sluis, zijn aangegeven in rood.

Verhogen open keerpeil

Het open keerpeil is afhankelijk van de berging van het achterliggende gebied. Dit kan hoger worden door de dijken rond de Uitvliet te verhogen (5,3 kilometer in totaal) of een overloopgebied aan te wijzen waar water op een gecontroleerde manier in kan lopen (zie tabel 5).

Tabel 5 Alternatieven voor het verhogen van het open keerpeil¹

Dijken Uitvliet verhogen	
Als er wordt uitgegaan van het opstellen van sluitingsprotocollen voor de deuren, hebben die nog een faalkans van gemiddeld 1/333 per jaar. De kans dat het open keerpeil wordt overschreden moet dan kleiner zijn dan gemiddeld 1/60 per jaar. Dit betekent een verhoging van 5,3 kilometer dijk tot 1,4 m+NAP. Op sommige plekken is de dijk al hoog genoeg (zie de kaart in figuur 17 in bijlage 1) Maar er moet ook rekening worden gehouden met delen van de dijk waar een weg op ligt. Hierdoor worden de kosten van het ophogen te hoog.	
Overloopgebied	
Een overloopgebied wordt aangewezen in de polder. Hier kan het water uit de Uitvliet gecontroleerd instromen zodat het peil op 1 m+NAP blijft en er op andere plaatsen geen ongecontroleerde overstromingen plaatsvinden. Rondom de Uitvliet liggen genoeg weilanden, dus dit lijkt een reële optie om nader te onderzoeken.	

Verkleinen van de kans op niet sluiten met een enkel keermiddel

Uit de scoretabellen voor de toetsing van de betrouwbaarheid van de sluiting in de Leidraad Kunstwerken (besproken in hoofdstuk 3) blijkt dat het technisch falen het maatgevende aspect is. De maximale score die hierbij voor één keermiddel gehaald kan worden is 2,5 (TAW, 2003). De gemiddelde faalkans is dan (met een open keerpeil van 1 m+NAP):

¹ Bron afbeelding: www.duikonder.nl

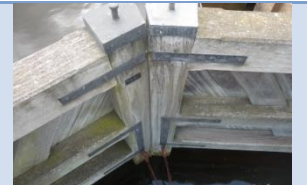
$$P_{ns} * n_j = 10^{-2,5} * \frac{1}{7,5} = 1/2500 \text{ per jaar}$$

Dit is niet kleiner dan 1/20 000, dus dit alternatief kan niet gebruikt worden bij de Gelderse sluis (zie tabel 6)

Tabel 6 Alternatief van het verbeteren van de huidige deuren

Verbetering van de huidige deuren

Met het huidige open keerpeil van 1,0 m+NAP, kan er niet gewerkt worden met een enkel keermiddel. De betrouwbaarheid van de sluiting kan op geen manier groot genoeg zijn.



Verkleinen van de kans op niet sluiten met een tweede keermiddel

Een tweede keermiddel kan in verschillende vormen voorkomen. Het wordt ingezet op het moment dat het eerste keermiddel faalt en moet daarom in voldoende mate onafhankelijk zijn (TAW, 2003). Dit betekent dat de onderlinge afstand niet te klein mag zijn. Dan zou dezelfde versperring ervoor kunnen zorgen dat beide keringen niet kunnen sluiten. Ook de bedieningssystemen mogen niet van elkaar afhankelijk zijn.

Situaties waarin een tweede keermiddel wordt ingezet

Er zijn verschillende situaties waarin een tweede keermiddel kan worden ingezet (zie tabel 7). Deze situaties hebben verschillende karakteristieken. De maatregel moet in alle situaties ingezet kunnen worden, maar de maatgevende situatie waarin de maatregel moet werken is situatie C. Hierin is de waterstand en de windsnelheid het hoogst en is er daarbij nog stroming. Er wordt hier rekening gehouden met het falen van één set deuren bij hoogwater. Dit gebeurt bij goed gebruik van sluitingsprotocollen gemiddeld één keer in de 2500 jaar (zoals berekend voor een enkel keermiddel).

Tabel 7 Verschillende situaties waarin een tweede keermiddel ingezet kan worden. De waarden van de parameters komen uit Promovera (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008).

Situatie		Max. waterstand	Windsnelheid	Golfhoogte
Situatie A	Een of meerdere deuren gaan niet dicht. Het mechanisme faalt of er ligt een versperring in de sluisopening.	Sluitpeil (1 m+NAP)	24 m/s	0,5 m
Situatie B	De deuren zijn gesloten, maar één of meerdere dreigen het te begeven.	1-2,1 m+NAP	33 m/s	0,8 m
Situatie C	Één of meerdere deuren hebben het begeven, het water stroomt de Uitvliet in.	1-2,1 m+NAP	33 m/s	0,8 m

Plaatsing tweede keermiddel in de sluis

Een tweede keermiddel kan vóór of achter de sluisdeuren worden geplaatst. Om het tweede keermiddel ook te kunnen inzetten om de deuren te ontlasten bij beginnende tekenen van falen, moet het tweede keermiddel vóór de sluisdeuren geplaatst worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met de draairuimte van de sluisdeuren.

Vaste oplossingen of losse oplossingen

De kans op falen van alle drie de deuren is even groot. Er is niet van te voren te voorspellen welke deur zal falen. Er kan worden gekozen voor één losse constructie die in alle sluisopeningen geplaatst kan worden, of voor drie vaste constructies, voor elke opening één. Om de oplossing goedkoop en efficiënt te houden, wordt voorkeur gegeven aan een losse oplossing die in alle gevallen ingezet kan worden.

Alternatieven in tweede keermiddelen

In tabel 8 worden verschillende keermiddelen beschreven. Van een aantal keermiddelen is direct duidelijk dat ze geen tweede keermiddel kunnen zijn voor de Gelderse Sluis. Het uitgangspunt is dat het tweede keermiddel het karakter van de sluis niet teveel mag veranderen, de constructie niet te zwaar mag zijn en dat de oplossing kans van werken heeft in stormomstandigheden die in hoofdstuk 4 beschreven staan.

Tabel 8 Alternatieven voor een tweede keermiddel²

Schotbalken	
Het huidige tweede keermiddel is de schotbalkkering. De sponningen waar de balken ingelegd worden, zijn al aanwezig. Nieuwe, aangepaste schotbalken of schotten zouden een oplossing kunnen zijn. Er moet wel rekening worden gehouden met de manier van plaatsen bij storm.	
Naaldkering	
De naaldkering werd vroeger gebruikt als noodkering. Het keermiddel bestaat uit een horizontale ligger over de sluisopening waartegen verticale buizen worden gezet. Deze buizen staan in een sleuf in de sluisvloer. Omdat de 'naalden' lichter zijn dan schotbalken kunnen ze met de hand worden geplaatst (van Leusen, 1999).	
Deur	
Het eerste keermiddel van de Gelderse Sluis zijn puntdeuren. Er kan worden gekozen om extra deuren als tweede keermiddel te gebruiken. Dit kunnen puntdeuren zijn of enkele deuren. In de huidige constructie van de Gelderse Sluis is echter geen plek voor een tweede set deuren of enkele deuren.	
Klep	
Een klep om de sluisopening af te sluiten kan vanaf de bodem omhoog worden getrokken of vanaf boven worden laten gezakt. Het is niet wenselijk om een klep boven de sluis te hebben hangen en op de bodem is geen plek voor een klep, omdat het in de draairuimte van de deuren zit. Een kelder voor de klep is een te zware ingreep in de constructie van de sluis. Dit alternatief is daarom geen oplossing.	

² Bronnen afbeeldingen: www.duikbedrijf.nl, www.zijpermuseum.nl, www.goeievraag.nl, www.noorderzijlvest.nl, www.kustvaartforum.com, www.debinnenvaart.nl, www.emmeloord.info, www.grand-case.nl, www.usace-isc.org.

Hefstuw

Bij een hefstuw is er een schot dat boven het water in een constructie hangt. Bij hoogwater zakt deze naar beneden in een sleuf zodat de doorgang wordt afgesloten. De hefconstructie is een zeer grote constructie en zal het uiterlijk van de sluis domineren. Dit keermiddel is daarom niet geschikt.



Roldeur/schuif

Een roldeur zit in de wand van de sluis en wordt voor de sluisopening geschoven wanneer die gesloten moet worden. Omdat er een overspanning van 23 meter overbrugd moet worden, zou de roldeur 23 meter de dijk in moeten. Dit is niet wenselijk.



Balgstuw

Een balgstuw is een constructie van een rubberen doek dat aan een vloer vastzit. In geval van hoogwater wordt deze vol gelaten met lucht, water of allebei en hierdoor ontstaat een soort ballon die het water tegenhoudt (Boeve, 2005). Een beroemd voorbeeld is de balgstuw in Ramspol, maar ook in de Weespertrekvaart in Amsterdam en in de Bornsebeek in Twente zijn ze aan te treffen op kleinere schaal. Balgstuwen zijn het meest geschikt voor situaties waar een kleine hoogte gekeerd moet worden. Bij de Gelderse Sluis gaat het om bijna 5 meter. Dit zou een grote constructie opleveren met een grote pompinstallatie. Dit is niet gewenst bij de Gelderse Sluis.



Bigbags

Bigbags kunnen in een sluisopening gezet worden in geval van nood. Ze gelden als tweede keermiddel als het voldoen op overtuigende wijze is aangetoond. Er moeten voldoende zakken aanwezig zijn en de procedure moet beschreven en bekend zijn (TAW, 2003). Omdat het moeilijk is om deze met storm in het water te plaatsen wordt afgezien van deze maatregel als tweede keermiddel.



Drijvend caisson

Onder andere in de Verenigde Staten is een drijvend caisson als keermiddel toegepast. Het caisson kan al drijvende op de goede plek worden gepositioneerd. Hierna worden één voor één compartimenten met water worden gevuld, waardoor het caisson verticaal in de stroomopening komt te staan.

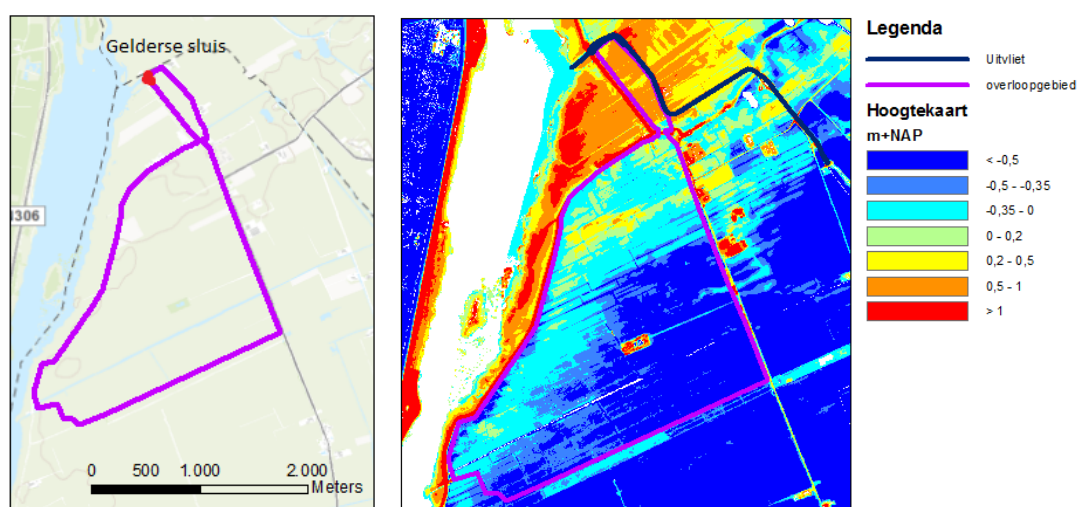


6.3 Kansrijke varianten

In de voorgaande opsomming van alternatieven zijn een aantal mogelijkheden onbruikbaar gebleken om redenen van uiterlijk, afmetingen of stormbestendigheid. De varianten die wel bruikbaar lijken en nader onderzocht worden, zijn: het open keerpeil verhogen met behulp van een overloop en een retentiegebied, schotbalken, een naaldkering en een drijvend caisson. In bijlage 4 is uitgebreidere informatie te vinden over (de inpassing van) de vier varianten.

Overloopgebied

Om het open keerpeil te verhogen kan een overloopgebied worden aangewezen, met een inlaat vanuit de Uitvliet. Het gebied zal gemiddeld maar één keer in de 2500 jaar gebruikt worden voor tijdelijke waterberging (zie berekening voor de verbetering van het eerste keermiddel). Met een schuif in de overlaat kan water worden ingelaten in het gebied. Met een duiker in Noordeinde kan het water naar het grote, zuidelijk gelegen gebied.



Figuur 4 Ligging van het overloopgebied en Figuur 5 hoogtekaart van het overloopgebied (AHN)

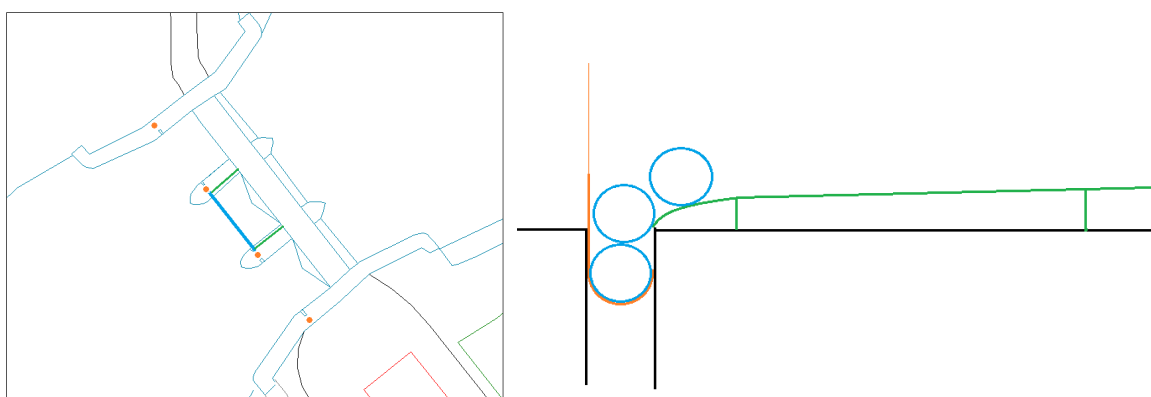
Het gebied dat aangegeven is in figuur 4 heeft een oppervlakte van 2,7 km². Bij een peil van 0,3 m+NAP bedraagt de berging ongeveer 1,77. 10⁶ m³. Dit is niet genoeg voor de geschatte benodigde berging die nodig is bij maatgevende storm. Om de maatregel te laten werken bij een maatgevende storm moet het gebied gedurende 15 uur een instromend debiet van gemiddeld 150 m³/s kunnen bergen (zie bijlage 4 voor berekeningen). Dit is een grove schatting. Het gebied van figuur 4 en 5 zou met berekende instroom na ongeveer vijf uur een peil van 0,3 m+NAP hebben. Om meer te kunnen bergen moet het gebied groter of het toegestane peil hoger. Voordelen en nadelen zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9 Voor- en nadelen overloopgebied

Voordelen	Nadelen
- De werking wordt niet benadeeld door stroming en wind.	- Grondeigenaren moeten hun land beschikbaar stellen.
- Geen aanpassingen aan de constructie van de Gelderse Sluis.	- Werkt niet ter bescherming van de deuren indien die op het punt staan om te begeven.
	- Het geeft een minder veilig gevoel.
	- Er is duiker nodig in Noordeinde

Schotbalken

Het type schotbalken dat in de IJssellinie is gebruikt, is niet geschikt voor gebruik tijdens storm. Mobiele kranen en torenkranen kunnen niet werken met windsnelheden hoger dan 15 m/s (Stichting Arbouw). Een constructie zoals bij de Prinsensluis in Genemuiden is aangebracht zou kunnen werken; daar worden de schotbalken via een rollerbank naar kleine kranen bij de sponningen gebracht waarna ze één voor één naar beneden worden gelaten. Er is echter uit onderzoek gebleken dat er minder last wordt ondervonden van de stroming als de kering van bovenaf wordt opgebouwd (Freckleton, Johnson, Boyd, & Mortensen, 2011). Verder kan de wrijvingskracht van de balk tegen de sponning verkleind worden door gebruik te maken van ronde buizen als schotbalken. Deze kunnen rollen en hebben een kleiner contactoppervlak. De stalen buizen worden via de rails naar de sponningen gerold, waar ze met een lier, van boven naar beneden, gezamenlijk in geplaatst worden. Impressies zijn te zien in figuur 6. De opening wordt met circa twintig buizen gedicht. Voordelen en nadelen zijn weergegeven in tabel 10.



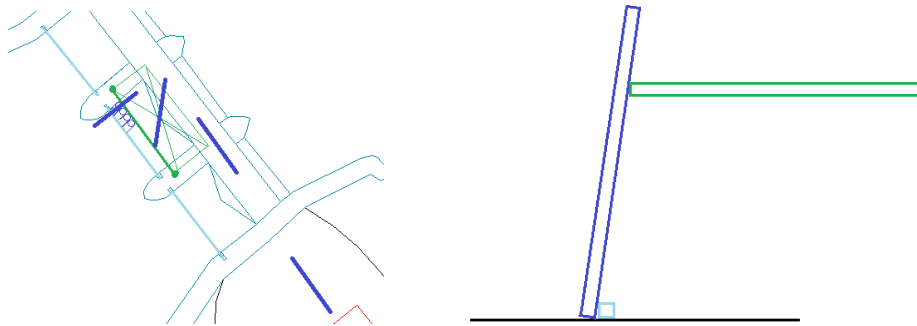
Figuur 6 Situatie (GBKN) met in oranje de posities voor de lieren, in blauw de stalen rollen in de sponningen en in groen de rollerbank om de rollen op hun plek te krijgen. Rechts het zij aanzicht van de rails.

Tabel 10 Voor- en nadelen buisschotbalkkering

Voordelen	Nadelen
- De buizen kunnen in stroming en bij wind worden aangebracht om het water te keren.	- Als er bevestigingspunten voor rails en lier op de sluismuren gemaakt moeten worden, verandert het uiterlijk van de sluis.
- Het kan al ingezet worden voordat de deuren het begeven.	
- De bestaande sponningen kunnen gebruikt worden	
- Bij gezamenlijk neerlaten van de schotbalken is het snel aan te brengen.	

Naaldkering

De naalden (stalen buizen) kunnen vanaf een mobiel platform boven de sluisopening met de hand tegen een drempel en een ligger aan geplaatst worden (figuur 7). Er moeten 48 naalden van 50 kg geplaatst worden. In stroming is er de kans dat ze wegklappen voordat ze tegen de drempel aan staan. Hier zou nog wel een geleidingsframe voor gebruikt kunnen worden. Voordelen en nadelen zijn weergegeven in tabel 11.



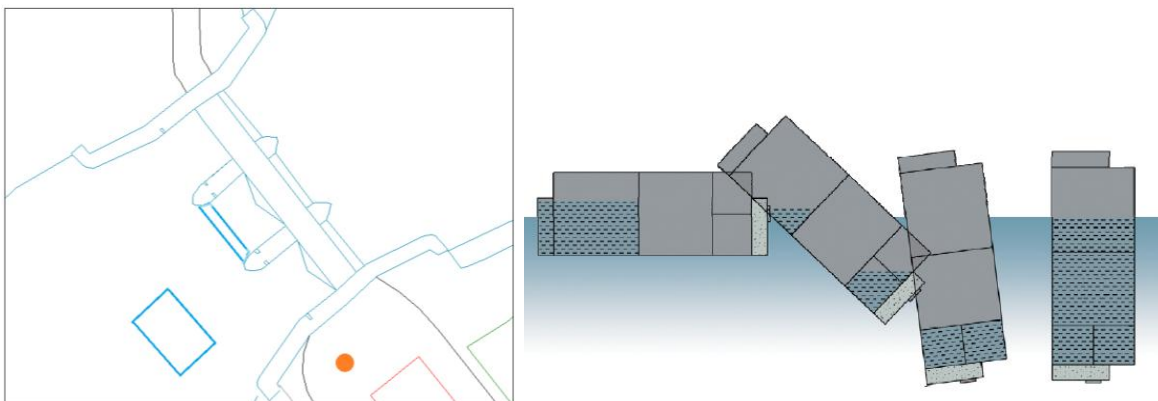
Figuur 7 plaatsing van de naalden vanuit de loods

Tabel 11 Voor- en nadelen naaldkering

Voordelen	Nadelen
- Met de hand te plaatsen, voor de deur	- In stroming is het moeilijk te voorkomen dat de buizen wegklappen.
- Gemakkelijk te verwijderen	- Er moet een ligger worden geplaatst over de sluis heen waarbij permanente verankeringpunten komen.
	- Voor een drempel kan zand verzameld worden
	- Als het snel neergezet moet worden, zijn er veel mensen nodig.

Drijvend caisson

Het caisson kan drijvend naar de goede positie gebracht worden. Hier wordt het aangesloten op een pomp aan de kant en wordt er water in de compartimenten gepompt waardoor het caisson kantelt (figuur 8 en 9). Dit caisson zou afmetingen moeten hebben van 5 x 7 x 0,5 meter. Voordelen en nadelen zijn weergegeven in tabel 12.



Figuur 8 De caisson drijvend en op zijn plek tegen de sluismuren. Op de plekken waar de constructie tegen de sluis steunt moet een goede afwikkeling van de krachten zijn. In oranje is de pomp aangegeven die vanaf de kant of vanaf de brug bediend kan worden. Figuur 9 het kantelen van het drijvende caisson voor de sluizen in de Tennessee River (US)

Tabel 12 Voor- en nadelen drijvend caisson

Voordelen	Nadelen
- Geen til- of draagconstructie	- Specialistische constructie
- Kan voor de deur geplaatst worden.	- Grote belasting op de sluismuren op het moment van plaatsen.
	- Kan last hebben van wind en golven.

7. Afweging en voorkeursalternatief

In dit hoofdstuk worden de kansrijke alternatieven beschouwd en afgewogen (paragraaf 7.1) en volgt de keuze voor het voorkeursalternatief in paragraaf 7.2.

7.1 Afweging

Bij het voorleggen van de oplossingsvarianten aan de beheerders³ is de haalbaarheid en de uitvoerbaarheid van de maatregelen besproken. Hier zijn een aantal afwegingen naar voren gekomen, die zijn weergegeven in een multicriteria-tabel (tabel 13). De werking van de oplossing bij verschillende voorkomende omstandigheden is belangrijker dan de andere criteria, daarom krijgen deze een drie keer hogere factor. Een beschrijving van de criteria is te vinden in bijlage 5.

Tabel 13 Multicriteria-analyse. Er worden scores gegeven van 2 (erg goed) tot -2 (erg slecht)

	Criterium	Weging	Overloop- gebied	Buis- schotbalken	Naaldkering	Drijvend caisson
Geen aanpassingen nodig voor werking	bij hoge windsnelheden	3	1	1	1	0
	bij golven	3	1	1	0	-2
	bij lange stormduur	3	-2	1	1	1
	bij stroming	3	1	0	-2	0
Constructie is eenvoudig		1	0	1	0	-1
Onderhoud is eenvoudig		1	1	0	0	1
Kosten zijn laag		1	0	1	1	-1
Uiterlijk van de sluis verandert niet		1	2	2	0	2
Totale score			6	13	1	-3

Overloopgebied

Een geschikt overloopgebied in de polder voor langdurige instroom is moeilijk te vinden. Ook is het moeilijk uit te leggen aan de eigenaren en bewoners dat hun grond mag overstroom. De vergoedingen die aan hen gegeven worden, zorgt voor extra kosten. Voordelen zijn dat de sluis niet veranderd wordt en dat de maatregel niet afhankelijk is van wind, stroming en golven. Om deze redenen heeft het alternatief een lage, positieve score.

Buisschotbalken

De beste eigenschap van de buisschotbalken is dat het alternatief goed werkt in de omstandigheden van hoogwater bij de Gelderse Sluis. Verder verandert het weinig tot niets aan het uiterlijk van de sluis. De buisschotbalken krijgen in de multicriteria-analyse een hoge positieve score.

Naaldkering

De stroming en de golven zijn aspecten die de werking van de naaldkering belemmeren. Doordat de naalden verticaal geplaatst worden, heeft de stroming grip op ze voordat ze vastzitten in de opening. Ook is de constructie, door het platform en de drempel, niet eenvoudig, wat ook doorwerkt in de eenvoud van onderhoud. De naaldkering krijgt een lage score, die nog maar net positief is.

³ Gesprekken met Peter Boone, Rob Nijman en Jaap Petersen (Vallei en Veluwe).

Drijvend caisson

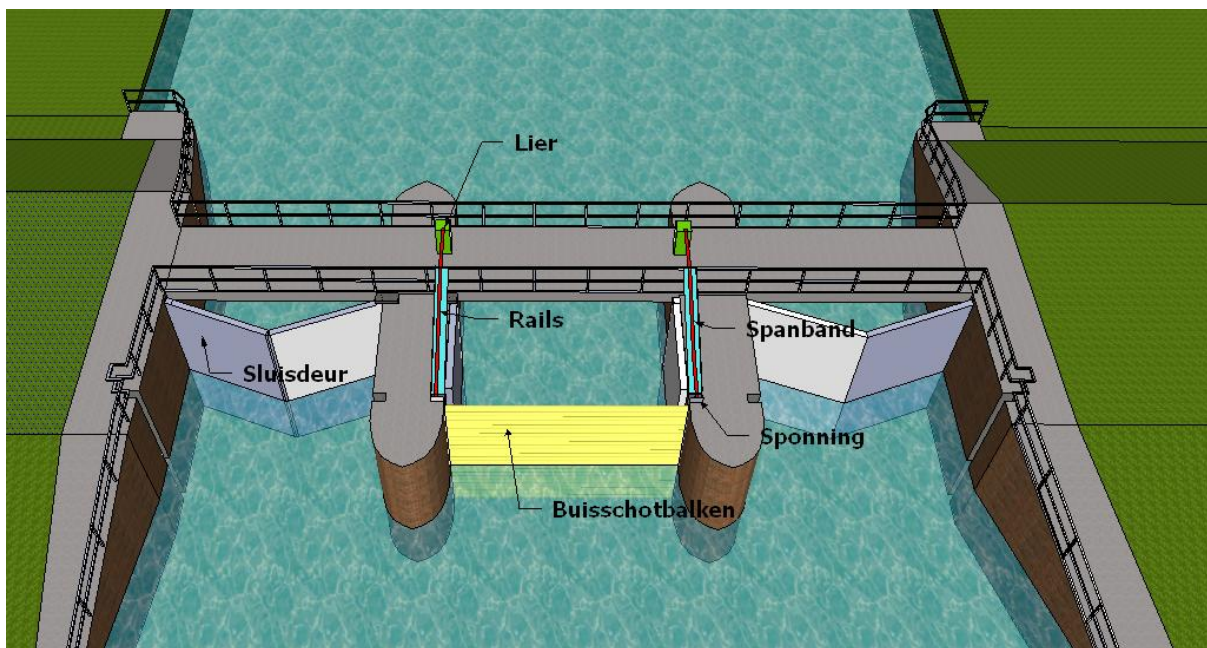
Het drijvende caisson is de meest complexe constructie, doordat er een op maat gemaakte constructie moet worden gemaakt, met drempel en pompmogelijkheden. Het varen van het afsluitmiddel heeft als voordeel dat er niet gehesen hoeft te worden, maar in de stroming, met golven en wind is de werking niet te garanderen. Hierdoor heeft het drijvend caisson een negatieve score gekregen.

7.2 Voorkeursalternatief

Na de overwegingen in paragraaf 7.1 en de uitkomst van de multicriteria-analyse is gekozen om een ontwerp te maken voor de oplossing van de buisschotbalkkering. Deze kering heeft de meeste kans om te werken, verandert door veel verplaatsbare onderdelen het uiterlijk niet significant en is relatief goedkoop omdat er niet veel specialistische constructies nodig zijn.

8. Ontwerp van buisschotbalkkering

In hoofdstuk 7 is de keuze voor de buisschotbalkkering besproken. In dit hoofdstuk wordt het ontwerp hiervoor gepresenteerd. Figuur 10 geeft een impressie van de Gelderse Sluis met tweede keermiddel. Het tweede keermiddel bestaat uit open, ronde buizen, geleidingsprofielen in de sponningen, rails en twee lieren met spanbanden. In paragraaf 8.1 wordt de werking van dit keermiddel uitgelegd. In paragraaf 8.2 wordt vervolgens het ontwerp van de verschillende onderdelen behandeld. Met de kosten van de onderdelen wordt een schatting gedaan van de totale kosten. In paragraaf 8.3 wordt het niet-materiële deel van het ontwerp besproken: de sluitingsprocedure. Het is belangrijk dat hier specificaties van op papier komen, omdat het een grote bijdrage levert aan de betrouwbaarheid van de sluiting.



Figuur 10 De buisschotbalken in de Gelderse Sluis.

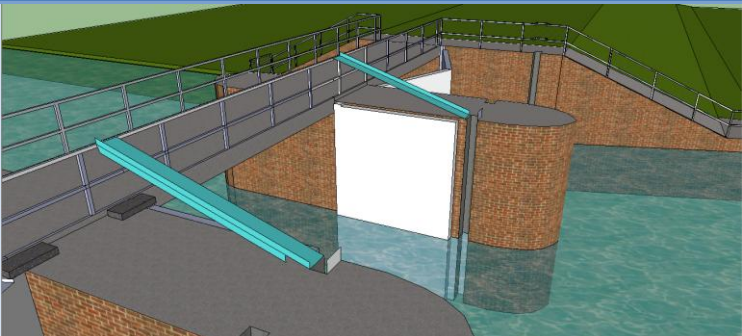
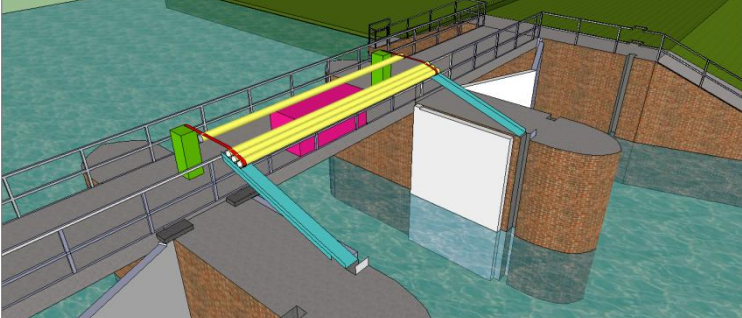
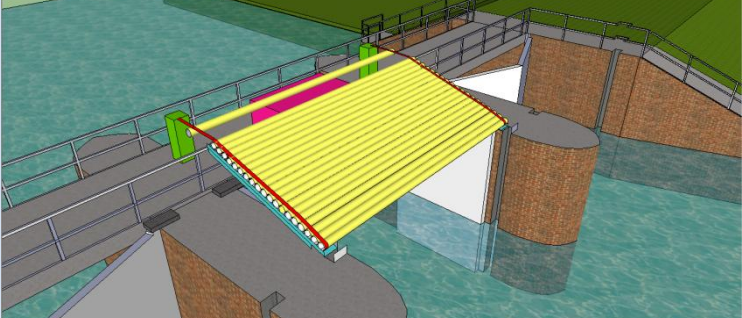
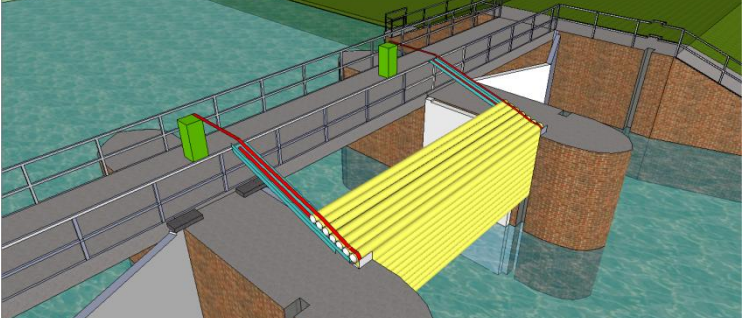
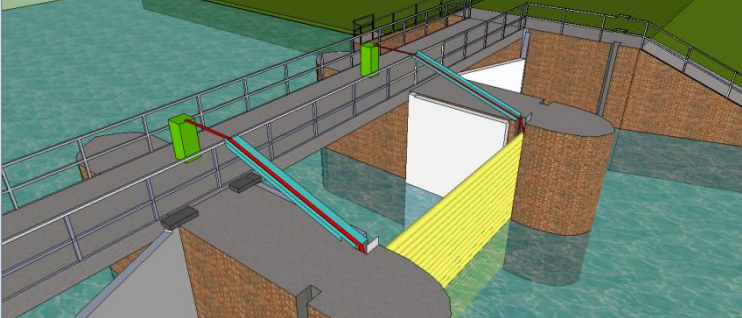
8.1 De buisschotbalkkering

De buisschotbalkkering is gekozen omdat het weinig vaste onderdelen heeft, er geen specialistische constructie nodig is, en omdat het aangebracht kan worden in stormomstandigheden. Door de ronde vorm is er minder wrijving tussen de balken en de sponningen. Dit vermindert de kans dat de buizen vastgedrukt komen te zitten in de sponning door de stroming. Doordat het ronde buizen zijn kunnen ze van het brugdek naar de sponning rollen. Op deze manier worden de lier- en begeleidingswerkzaamheden uitgevoerd op het brugdek in plaats van op de sluismuren.

De sluiting

De stappen die worden doorlopen bij het sluiten van het tweede keermiddel zijn weergegeven in tabel 14.

Tabel 14 Stappen in de sluiting van de buisschotbalkkering

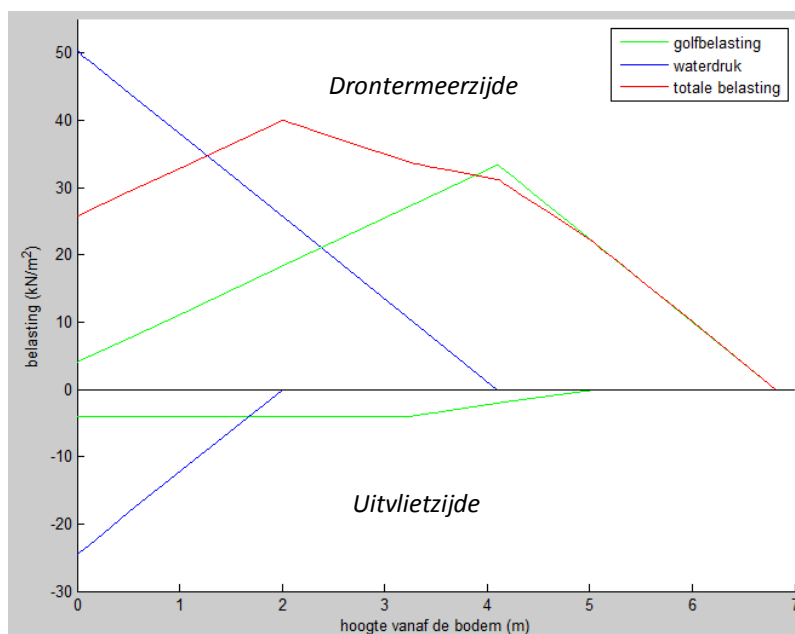
	De rails worden aangebracht op de sluismuren. Deze haken in de sponning en over het brugdek. De banden zijn aan de onderkant bevestigd aan een contragewicht op het brugdek of de reling, en aan de bovenkant aan de lier.
	De buizen worden vanuit de loods waar ze liggen opgeslagen naar het brugdek gebracht. Vanaf de kar worden ze op de rails gerold, waarop steeds ruimte vrijkomt door de spanbanden iets te laten vieren.
	Zo worden de buizen op de rails gelegd en zakt de kering steeds een stuk naar beneden.
	Bij de sponning aangekomen wordt het gewicht op de banden groter, en door gecontroleerd de band te laten vieren, zakken de buizen in de sponning.
	Als de eerste buis op de bodem is aangekomen, is de opening afgesloten. De banden blijven zitten zodat de buizen ook weer naar boven kunnen worden gehaald. De buizen zijn open en lopen dus vol met water.

8.2 De constructie

In deze paragraaf wordt de constructie per element besproken. De berekeningen behorende bij de sterkte en stabiliteit van de constructie zijn te vinden in bijlage 6.

De buizen

De sterkte van de stalen buizen moet berekend worden voor de maatgevende belasting. Het belastingsverloop is weergegeven in figuur 11. Het bestaat uit de waterdruk en de golfbelasting (berekend volgens methode in Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003)), beide met een belastingsfactor van 1,25. De maatgevende situatie ontstaat bij een peil van 0 m+NAP aan de binnenzijde (de hoogte vanaf de bodem is dan 2 meter). Er is voor dit lage peil gekozen omdat dit een hogere totale belasting geeft. Dit peil kan voorkomen als de deuren al vroeg in de storm gesloten worden en als er afwaaiing in de Uitvliet achter de sluis deuren plaatsvindt. De rode lijn geeft de totale belasting weer. De belasting waar de buizen op ontworpen worden is $40,08 \text{ kN/m}^2$.



Figuur 11 Verschillende belastingen op de buisschotbalkkering met belastingsfactor 1,25.

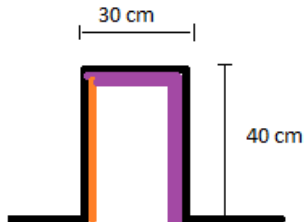
Ontwerputgangspunten waar rekening mee gehouden is bij de keuze voor een buisprofiel zijn:

- De diameter moet kleiner zijn dan 28 cm, om in de profielen in de sponningen te kunnen. Het beste is om een diameter kleiner dan 26 cm te hebben, omdat er dan genoeg ruimte is voor de buizen om te rollen, naast de spanbanden en de profielplaten.
- De lengte is 7,2 m, dan zitten de buizen aan beide kanten voor 25 cm in de sponningen.
- De buizen moeten van zo weinig mogelijk staal gemaakt worden om gewicht en kosten laag te houden.
- Er wordt rekening gehouden met een kering van tot 3 m+NAP, de hoogte van de deuren. Dit is een conservatieve benadering, omdat er een grote marge (0,9 m) is met de maatgevende hoogwaterstand. Met het oog op onzekerheden in de toekomst wordt met dit conservatieve uitgangspunt gerekend.

Het profiel dat hier het beste aan voldoet (zie bijlage 6) is rond $244,5 \times 7,1 \text{ mm}$. De buizen wegen dan 300 kg per stuk en het totale gewicht van de kering is 5990 kg.

Sponningen

In de sponningen wordt een profiel aangebracht van staalplaat (zie figuur 12). Deze zorgt ervoor dat de wrijving van de buizen in de sponningen wordt geminimaliseerd. Het oranje deel steekt 15 centimeter boven de sluismuur uit als beveiliging voor de buizen als ze naar beneden rollen. Deze platen zijn 1,5 mm dik, en zijn gebeitst en geolied als bescherming tegen corrosie. Er zijn zes platen van 30 cm en twaalf platen van 40 cm nodig. Alles 5 meter lang.



Figuur 12 Een profiel van staalplaat in de sponningen. Het oranje deel steekt 15 cm boven de sluismuur uit.

Spanbanden

De spanbanden moeten sterk genoeg zijn om het gewicht van de buizen te dragen. Omdat er twee draagpunten zijn, gaat het om de helft van het totale gewicht ($1/2 \times 5990 = 2995$ kg). Dit resulteert in twee banden van 20 meter lang die beide 3000 kg kunnen hijsen. De spanbanden zijn bevestigd aan de lier en aan een tegengewicht op het brugdek.

Lieren

Om de spanbanden geleidelijk te laten vieren en de balken weer omhoog te kunnen halen, wordt gebruikt gemaakt van twee handlieren. Deze moeten minimaal een capaciteit hebben van 1500 kg. Dit is de helft van het gewicht dat aan de spanband hangt. De andere helft wordt opgevangen door het tegengewicht op het brugdek. Dit tegengewicht is niet verder gespecificeerd en kan eventueel bestaan uit de reling of het brugdek.

Rails

De rails moeten de buizen begeleiden naar de sponningen. Daarbij moeten ze het gewicht van de balken kunnen dragen. Er is een stalen T-profiel gekozen die voor de stevigheid moet zorgen. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten in acht genomen:

- De lengte is 4,12 meter, van de reling tot de sponning. De rails staan in een hoek van 14° .
- De maatgevende belastingssituatie ontstaat wanneer alle buizen op de rails liggen.
- De maximale doorbuiging is 50 mm. Hierbij worden de buizen nog niet belemmerd in het rollen.

Het staalprofiel dat hier het beste aan voldoet is T-profiel (90° gedraaid) $150 \times 100 \times 250 \times 5 \times 5$ mm. ($H_1 \times H_2 \times B \times d_1 \times d_2$). Berekeningen zijn te vinden in bijlage 6.

De kracht van de buizen en de rails moet worden afgedragen naar de grond. Bij de sponning gebeurt dit via de sluiswanden, bij het brugdek gaat via een extra kolom. Het profiel dat nodig is, is vierkant $25 \times 25 \times 2$ mm ($H \times B \times d$), zie bijlage 6.

Kar

De buizen moeten met een kar vanuit de loods naar het brugdek gebracht worden. Dit kan met een kar of shovel. Het is belangrijk dat de buizen op een hoogte van één meter liggen zodat ze meteen de

rails op kunnen rollen. Elke buis weegt 300 kg, dus het is afhankelijk van de kar en het aantal mensen personeel hoeveel buizen tegelijkertijd vervoerd kunnen worden. De kar is verder niet gespecificeerd. Er kan door het Waterschap gekozen worden voor materieel dat al in bezit is, of voor het aanschaffen van nieuw materieel.

Opslag

Alle materialen van de schotbalkkering worden opgeslagen in de loods naast de sluis. Het meest handig is als de buizen op hoogte van de kar worden opgeslagen. Dan kunnen ze meteen op de kar worden gerold. Indien ze vanaf hoger of lager op de kar moeten worden gelegd, moet er een shovel gebruikt worden.

Permanente veranderingen

Op de landhoofden kan de rails niet geplaatst worden zonder de reling weg te halen. Dit moet gebeuren als de sluiting van één van de buitenste openingen faalt, en voordat de rails geplaatst wordt. De oude lier die op de noordelijkste sluismuur staat, kan blijven staan. Deze staat niet in de weg van de rails.

Kosten

Er is een schatting gemaakt van de kosten door de materiaalprijzen van de verschillende onderdelen op te tellen (zie tabel 15). De kosten van het op maat maken en de levering zijn hier niet in meegenomen. De totale kosten zoals berekend bedragen €25.112 euro.

Tabel 15 Schatting van de kosten van de materialen.

Element		Aantal	Totale kosten
Buizen 244,5 x 7,1 mm	€155,90 per meter (Doumastaal, 2011)	20 x 7,2 m = 144 m	€22.450
Rails 150 x 100 x 250 x 5 x 5 mm	Strip 250 x 5 mm €140 per 10 meter (Breedveld staal, 2012)	4 x 4,2 m = 16,8 m	€235
Kolom 25 x 25 x 2 mm	€5,36 per meter (Breedveld staal, 2012)	2 x 1 m = 2 m	€10,72
Sponningsplaten (40/30/40) x 5 x 1,5	Plaat 2000 x 1000 x 1,5 (24 kg) €133,30 per 100 kg (Breedveld staal, 2012)	6 x 3 = 18 platen	€576
Spanbanden 3000 kg 20 m	€23,10 voor 5 ton, 20 meter, 50 mm breed, 2 mm dik (Hijzenhefwinkel.nl, 2013)	2 banden	€46,20
Lieren 1500 kg	€897 voor 1500 kg wormwiellier (Ad.A.Klein Transporttechniek bv., 2013)	2 lieren	€1.794
			€25.111,92

8.3 Sluitingsprocedure

Alleen het ontwerpen van een nieuw tweede keermiddel is niet genoeg om de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis te garanderen. De aanwezigheid van een keermiddel heeft geen toevoeging als niet bekend is hoe om te gaan met de sluiting ervan. Daarom moet er sluitingsprotocol worden opgesteld voor zowel de deuren als de schotbalken van de Gelderse Sluis. Dit bevat een beschrijving van het kunstwerk en de verschillende stappen die ondernomen moeten worden in de sluiting ervan. Hieronder is een overzicht gegeven van de elementen in het sluitingsprotocol. Een voorbeeld van het protocol is gegeven in bijlage 7.

Hoogwater waarschuwingssysteem

De waterstand wordt in de gaten gehouden door weersvoorspellingen die twee keer per dag binnenkomen. Als tweede meetpunt is er de peilschaal bij de sluis. Als de verwachting is dat het water het sluitpeil gaat bereiken, moet de dijkpost gewaarschuwd worden en moet personeel worden ingezet. Na uitvoering van taken moet er gemeld worden wat is gedaan via een terugmeldprocedure. Dit alles wordt minstens éénmaal per jaar geoefend.

Mobilisatie

In het geval dat de sluis gesloten moet worden, wordt er vanuit de dijkpost personeel gemobiliseerd. Deze moeten vanuit de werkplaats of woning naar de sluis toe. Er is een schema waarin personen zijn aangewezen die bereikbaar en inzetbaar zijn en ook personen die stand-by staan. Al deze mensen moeten hun taken kennen en de sluiting minimaal één keer per jaar geoefend hebben. Ook hier wordt gewerkt met een terugmeldsysteem, waarbij elke voltooide taak wordt gemeld aan de dijkpost. Het kunstwerk kan via de randmeerdijk bereikt worden. Indien dit niet lukt, door harde wind en golfoverslag bijvoorbeeld, kan het fietspad langs de uitvliet gebruikt worden.

Sluitingsprocedure

In de sluitingsprocedure moet stap voor stap zijn uitgelegd welke handelingen verricht moeten worden, zoals in tabel 14 in paragraaf 8.1 (pag. 27). Ook wordt hierin uitgelegd hoe te handelen bij storingen. Alle betrokkenen zijn bekend met de handelingen en oefenen deze minstens één keer per jaar. Ook is het belangrijk dat alle betrokkenen in het bezit zijn of kunnen komen van de juiste sleutels van de loods. Er is een terugmeldprocedure naar de dijkpost.

Bedrijfszekerheid

De bedrijfszekerheid van de sluis wordt gegarandeerd doordat de sluitingsprocessen handbediend zijn. Zo kunnen storingen makkelijker worden opgemerkt en worden opgevangen. De buisschotbalken zijn aanwezig indien de deuren niet sluiten, dit maakt de bedrijfszekerheid groter. Om niet voor verrassingen te komen staan, worden de deuren tweemaal per jaar gecontroleerd en één keer per jaar getest. De buisschotbalken worden tweemaal per jaar gecontroleerd en één keer in de vijf jaar volledig getest.

9. Toetsing

Het nieuwe ontwerp zoals besproken in hoofdstuk 8 wordt in dit hoofdstuk getoetst aan het Programma van Eisen (hoofdstuk 5 en bijlage 3) en de Betrouwbaarheid van de sluiting. Omdat de Gelderse Sluis eerder al een voldoende heeft gekregen voor de hoogte, sterkte en stabiliteit, wordt dit hier niet meegenomen. Er wordt aangenomen dat dit niet verandert. De buisschotbalken zijn ontworpen voor de eisen van hoogte, sterkte en stabiliteit, dus deze voldoen ook.

Programma van Eisen

Het ontwerp voor de buisschotbalkkering is getoetst aan het Programma van Eisen, en het voldoet. De sluis kan functioneren binnen de randvoorwaarden van de Gelderse Sluis; het werkt bij langdurige harde wind, stroming en golven. Het karakter van de sluis blijft behouden doordat er behalve de sponningsplaten, geen permanente onderdelen voor het tweede keermiddel zijn. Ook aan de wensen van het uitzicht en de doorvaarbaarheid is voldaan, en de opening is buiten calamiteiten vrij.

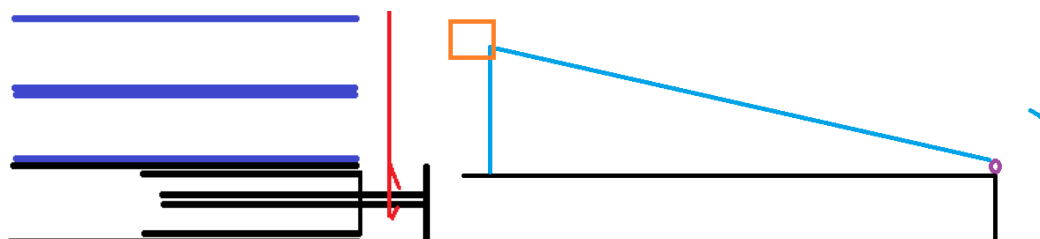
Betrouwbaarheid van de sluiting

Met de toepassing van de buisschotbalkkering en het sluitingsprotocol zoals die in hoofdstuk 8 zijn beschreven, voldoet de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis aan de eisen. Omdat er voor het kunstwerk nu specificaties bestaan voor het gebruik en beheer volgens de Leidraad Kunstwerken, kan er meteen een oordeel 'goed' worden gegeven (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007).

Eerste test

Er is een eerste test van het ontwerp uitgevoerd in de Gelderse Sluis op 15 juli 2013. Hierbij is met planken, touwen en een pvc-buis de ontworpen constructie nagebouwd en is de werking ervan getest. Foto's van de test zijn te vinden in bijlage 8. De pvc-buis is natuurlijk veel lichter dan de beoogde stalen buizen. Ook is de stevigheid niet gelijk; de pvc-buis boog veel door, door de grote overspanning. Hierdoor schoof de buis meer naar beneden dan dat hij rolde.

De overgang van de rails naar de sponning is nog een aandachtspunt. Het idee is ontstaan om daar een rol te plaatsen aan de rails waardoor de buizen en de kabel naar de lier een afgeronde overgang hebben naar de sponning en die weinig weerstand geeft omdat het zelf ook kan rollen. Er ontstonden zorgen over of de spanbanden wel om de balk zouden blijven zitten tijdens het plaatsen. Hierop is de volgende constructie bedacht: In de eerste balk komt een inzetstuk met een as erin. Om deze as zit een lus van een staalkabel die aan de lier zit. Om de geleiding van de kabel mogelijk te maken, wordt de eerste balk langer dan de bovenliggende, zodat de kabel vrij ligt. De lieren kunnen dan aan de zijkant van de rails bij de brugreling worden geplaatst. De kap die de buizen moet begeleiden (ook zeker bij het ophijzen) zit aan de rails vast en is iets gebogen. Impressies zijn te zien in figuur 13.



Figuur 13 Impressie van de nieuw ontstaande ideeën. Links een dwarsdoorsnede van het vooraanzicht van de schotbalken. De onderste balk heeft een inzet waar de kabel (rood) aan vast zit. Rechts de rails met een rol aan het eind en een kap om de balken te geleiden. De lier (oranje) staat bij de brugreling.

10. Conclusie

In dit onderzoek is de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis in Noordeinde geanalyseerd en is een oplossing ontworpen in de vorm van buisschotbalken en een sluitingsprotocol. Dit moet ervoor zorgen dat de bewoners uit de achterliggende polders Oldebroek en Oosterwolde beter beschermd zijn tegen overstromingen en dat het kunstwerk tijdens de volgende wettelijke toetsingsronde in 2017 wordt goedgekeurd.

Omdat bleek dat de oude, rechthoekige schotbalken niet goed werken tijdens maatgevende omstandigheden moet er een beheermaatregel komen die zorgt dat de betrouwbaarheid van de sluiting tijdens de volgende toetsingsronde in 2017 voldoende is. In hoofdstuk 3 bleek dat gemiddeld één keer in de 24 jaar de sluisdeuren dicht moeten, maar dit niet kan vanwege menselijke handelingen of blokkades. Het hoogwateralarmeringssysteem is de zwakste schakel. Omdat er geen procedures op schrift staan van de alarmering, de mobilisatie van personeel en het bedieningsproces kan er veel mis gaan bij het sluiten.

Manieren om de sluitzekerheid groter te maken, en de kans dat iets mis gaat kleiner, zijn onderzocht in hoofdstuk 6. Van de oplossingsrichtingen bleek het verbeteren van de bestaande deuren geen mogelijkheid. Dit levert niet de betrouwbaarheid op die nodig is. De overgebleven, kansrijke alternatieven waren: een overloopgebied aanleggen en zo het open keerpeil te verhogen en een tweede keermiddel in de vorm van buisschotbalken, een naaldkering of een drijvend caisson. Deze alternatieven zijn geselecteerd op basis van hun eenvoud, wat van belang is voor de kosten en het uiterlijk.

Op basis van goede werking zonder veel aanpassingen is de buisschotbalkkering als voorkeursalternatief gekozen in hoofdstuk 7 en ontworpen in hoofdstuk 8. Deze kering bestaat uit sponningplaten, een kar, twee lieren met spanbanden, twintig ronde stalen buizen en een rails waarop de buizen van het brugdek naar de sponningen rollen. Door de ronde vorm ondervinden de buisschotbalken minder wrijving in de sponning en kunnen ze naar de sponning rollen. De buizen ondervinden minder weerstand tegen de sponningen, en worden hierdoor niet vastgedrukt, maar rollen naar beneden. Door de buizen samen in de sponningen te rollen, ontstaat de kering van boven naar beneden. Zo heeft de stroming een minder negatieve invloed op de schotbalken dan wanneer de kering vanaf de bodem wordt opgebouwd.

Op basis van het onderzoek dat nu verricht is, lijkt de buisschotbalkkering een goede oplossing om de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis te verhogen en voldoet het aan de doelstelling: effectief, tegen lage kosten en met weinig veranderingen voor de omgeving.

11. Aanbevelingen

De aanbeveling voor Waterschap Vallei en Veluwe is om naar aanleiding van dit rapport meer onderzoek te doen naar de maatregel van de buisschotbalken. Er zijn bij de test van 15 juli 2013 al een aantal nieuwe ideeën en inzichten naar voren gekomen. In dit eerste onderzoek naar een oplossing voor de betrouwbaarheid van de sluiting van de Gelderse Sluis zijn veel uitgangspunten gebruikt. Aanbevolen wordt om deze uitgangspunten bij verder onderzoek opnieuw te overwegen.

Inmeten

Bij het maken van het ontwerp is gebruik gemaakt van afmetingen van de Gelderse Sluis die afgeleid zijn van de GBKN (Grootschalige Basiskaart van Nederland) en eenvoudige metingen die ter plekke zijn gedaan. Het blijkt hier dat deze afmetingen niet altijd overeen komen met elkaar en met de basisinformatie die bij het Waterschap beschikbaar is (zoals de breedte van de opening). Als de onderdelen van de constructie ontworpen en gebouwd gaan worden, is het erg van belang dat de gebruikte maten kloppen. Er wordt aangeraden dit goed in te meten.

Monumentencommissie

Voordat een ontwerp verder uit wordt gewerkt wordt aanbevolen om met de monumentencommissie van Oldebroek contact op te nemen. De Gelderse Sluis is een gemeentelijk monument, en veranderingen aan de sluis moeten eerst worden goedgekeurd. De sponningsplaten, het enige element van het ontwerp dat permanent aanwezig is in de sluis, springen dan wel niet erg in het oog, maar zijn toch een verandering aan het uiterlijk.

De maatgevende hoogwaterstand en de hoogte

De maatgevende hoogwaterstand is voortgekomen uit het model Promovera, waar onder andere gebruik wordt gemaakt van het bodemprofiel van het Drontermeer. Nu begin 2012 door de Provincie Flevoland aan Eeltink Nijkerk bv. een vergunning is verleend voor het uitdiepen van de vaargeul in het Drontermeer, verandert het bodemprofiel. Dit zou gevolgen kunnen hebben voor de maatgevende hoogwaterstand bij de Gelderse Sluis. Ook is er op dit moment een onderzoek naar de verandering van de norm voor waterkeringen. Het is onduidelijk of en wanneer deze komt, maar hier moet zeker naar gekeken worden voor verder wordt gegaan met het ontwerp. Klimaatverandering zou invloed kunnen hebben op de mate van voorkomen van stormen en de hevigheid hiervan, uitkomsten van onderzoek hiernaar moeten worden meegenomen bij het herzien van het model Promovera.

De maatgevende waterstand heeft invloed op de sterkte van de kering en op de hoogte. Voor de hoogte is in het ontwerp in dit onderzoek dezelfde hoogte als van de deuren aangehouden (3 m+NAP). Dit is echter 0,9 meter hoger dan de maatgevende hoogwaterstand en de kering is dus overgedimensioneerd. Als de verwachting is dat de maatgevende hoogwaterstand niet hoger gaat worden in de nabije toekomst, kan er ook een lagere schotbalkkering worden ontworpen. Hierdoor is minder materiaal nodig en kunnen de rails, lieren en schotbalken lichter worden uitgevoerd. Ook kan er voor gekozen worden om de rails, lieren en schotbalken wel zo zwaar te maken als in dit rapport beschreven, maar minder buizen aan te schaffen. Indien de maatgevende hoogwaterstand dan hoger wordt, kan er gemakkelijk een extra buis worden aangeschaft. Dit valt binnen het kader van uitbreidbaarheid wat het Waterschap nastreeft.

Andere opties voor het ontwerp

In plaats van de reling op de landhoofden te verwijderen voordat de rails worden neergezet (zoals voorgesteld in hoofdstuk 8), kan de reling ook permanent enkele centimeters landinwaarts worden geplaatst. Dit vereist een extra investering in het begin, maar geeft tijdswinst bij de sluiting van de buisschotbalkkering. Als voorbeeld kan de Prinsensluis bij Genemuiden worden genomen.

Het laten zakken met twee lieren brengt als moeilijkheid in het proces dat het gelijk moet gaan om te voorkomen dat de buizen scheef rollen. Dit vergt goede samenwerking van het bedienend personeel. In vervolgonderzoek zou gezocht kunnen worden naar een methode om de twee banden met één lier te verbinden en ze daarmee te laten zakken (zoals luxaflex). De kosten en baten van één lier moeten goed afgewogen worden voor hiertoe besloten wordt.

Doordat alle buizen in één keer worden neergelaten, moeten de rails, lieren en spanbanden erg sterk zijn. Een optie om deze lichter te kunnen uitvoeren is om de buizen in twee keer neer te laten. Consequentie is wel dat er twee paar spanbanden aanwezig moeten zijn. Ook moeten er meer gegevens verzameld moeten worden over de stroming om te bepalen of het gewenst is om eerst een drempel te creëren en daarna pas de afsluiting te realiseren.

De kolom die in hoofdstuk 8 is ontworpen is niet nodig als de brugreling dezelfde sterkte en stabiliteit kan leveren. Dit moet verder onderzocht worden.

Het is goed dat er handbediende lieren worden gebruikt in het ontwerp, omdat de werking dan niet afhankelijk is van de aanwezigheid van elektriciteit of brandstof. Echter duurt het bedienen wel langer, en door de aanwezigheid van katrollen is er veel tijd nodig voor weinig verplaatsing. De voorkeur vanuit het beheer ligt dus ook bij elektrische of hydraulische aandrijving. Afwegingen over kosten, baten en zekerheden hiervan moeten gemaakt worden bij het verdere onderzoek.

Bergingsgebied voor het gemaal

Uit het onderzoek in hoofdstuk 6 is gebleken dat een overloopgebied voor het overstromingswater uit het Drontermeer erg groot zou moeten zijn. Daarom is dit alternatief niet het meest geschikt als oplossing voor de betrouwbaarheid van de sluiting. Echter is het voor het water van het gemaal misschien wel een optie. Dit gemaal pompt maximaal $8 \text{ m}^3/\text{s}$ uit de polder, en in vijftien uur is dit een volume van $432\,000 \text{ m}^3$. Dit is vier keer minder dan wat in het beschouwde overloopgebied uit paragraaf 6.3 kon. Het moet dus mogelijk zijn een bergingsgebied aan te wijzen voor het water van het gemaal. In het huidige plan is aangenomen dat er niet gemalen wordt wanneer de sluis gesloten is. Dit water kan immers nergens heen. Dit is niet wenselijk omdat het polderpeil zo stijgt en er wateroverlast kan ontstaan. De optie voor een bergingsgebied moet nader onderzocht worden.

Literatuurlijst

Ad.A.Klein Transporttechniek bv. (2013). *Catalogus*. Opgehaald van <http://www.adaklein.nl/files/catalogus14.pdf>

Agtersloot Hydraulisch Advies. (2010). *Inventarisatie basisgegevens hydraulische modellen: Veluwerandmeren*.

Bodemkaart Vallei en Veluwe. (2013).

Boeve, P. (2005). *Bescherming van de Oostendse binnenstad tegen een duizendjarige storm door het stormvrij houden van het Montgomerydok in de haven*.

Breedveld staal. (2012). *staalprijzen*. Opgehaald van http://staalprijzen.nl/images/stories/archief/2012/20120411/20120411_bruto_prijsljst_staalprijzen_koker.pdf

Doumastaal. (2011). *Prijsljst gelaste buizen*. Opgehaald van <http://www.doumastaal.nl/user/doc/Douma-prijsljst%2005%20buizen%202012-10-01.pdf>

Freckleton, D., Johnson, M., Boyd, M., & Mortensen, D. (2011). Stop Logs for Emergency Spillway Gate Dewatering. *Journal of Hydraulic Engineering* , Vol.137, No 6.

Gemeente Oldebroek. (2001). *Monumentenregister Noordeinde*. Opgehaald van <http://www.welstandnotas.nl/oldebroek/1821.htm>

Gemeenteraad Oldebroek. (2010). Monumentenverordening Oldebroek.

Hijzenhefwinkel.nl. (2013). *Spanband 5 ton, 20 meter*. Opgehaald van <http://www.hijzenhefwinkel.nl/a-16693721/spanbanden-5-ton/spanband-5-ton-20-meter-sb852200/>

Historisch Centrum Overijssel. (2013). *Fotoarchief Sluizen en Schepradgemalen, 1978/1979*.

Hughes, S. (2004). Estimation of wave run-up on smooth, impermeable slopes using the wave momentum flux parameter. *Coastal Engineering* .

Matrix Software. (sd). Matrixframe 5.0.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2008). *Addendum op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 m.b.t. primaire waterkeringen van de categorie c*.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2008). Promovera 3.0 HRC2006.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*.

Ontdek de IJssellinie. (2012). Opgehaald van <http://www.ontdekdeijssellinie.nl/>

Provincie Flevoland. (2012, 4 11). Brief aan Eeltink Nijkerk BV. *Vergunning voor het verdiepen van de vaargeul en een tweetal andere locaties op het Drontermeer* .

Rijksdienst voor de Monumentenzorg. (1992, maart 31). Brief aan Burgemeester en Wethouders van Oldebroek. *Nieuwe Geldersche sluis te Noordeinde*.

Rijkswaterstaat. (2004). *ProMoVera: Probabilistisch Model voor de Veluwerandmeren*.

Rijkswaterstaat. (2012). *User's guide WAQUA: General Information*.

Rijkswaterstaat. (2013). *Waterwet*. Opgehaald van http://www.rijkswaterstaat.nl/water/wetten_en_regelgeving/waterwet/

Roberson, J., Cassidy, J., & Chaudhry, M. (1988). *Hydraulic Engineering*.

Snijder, H., & Steenbergen, H. (2011). *Krachtswerking, Grondslagen voor het berekenen en toetsen van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 0, 1 en 3*. Bouwen met Staal.

Stichting Arbouw. (2009). *A-blad tillen*.

Stichting Arbouw. *Werken met torenkranen en mobiele kranen*.

Stowa. (2006). *Historische kunstwerken - hulpmiddelen voor toetsers*.

Tauw. (2010). *Toetsing Kunstwerken Randmeerdijk dijkkring 11*.

TAW. (2003). *Leidraad kunstwerken*.

(1982). Discharge Ratings for Miscellaneous Hydraulic Facilities. In USGS, *Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge*.

Van der Schrier, D. (2008). De strijd van Kamperveen tegen het water. In *Kamper Almanak* (pp. 84-101).

van Leusen, B. (1999). *Duikers en sluizen*. Houten: Stam Techniek.

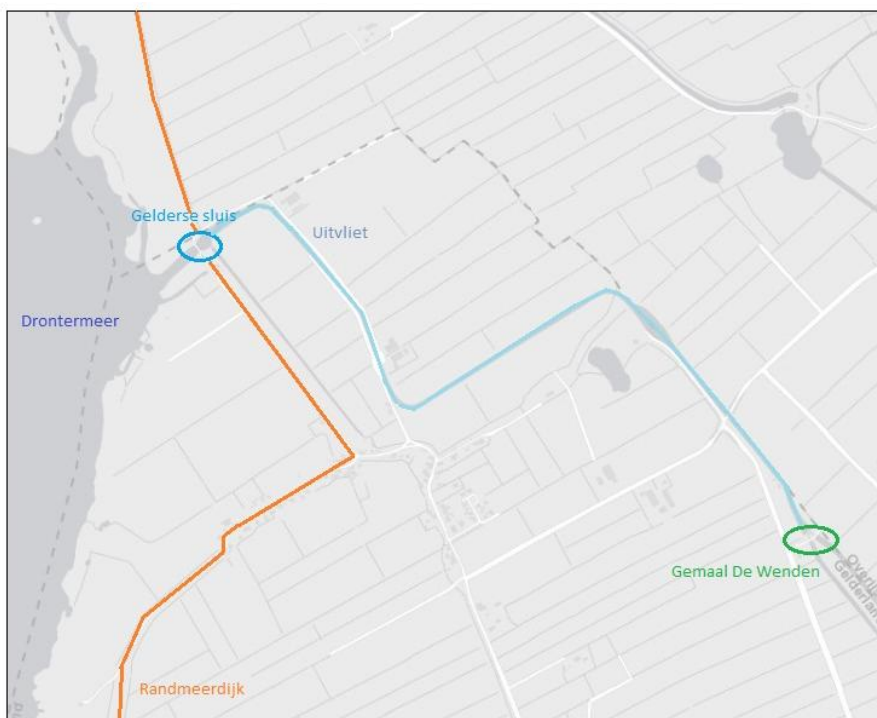
Waterschap Vallei & Veluwe. (2013). *Gelderse Sluis*.

Waterschap Veluwe. (2012). *Gelderse Sluis*.

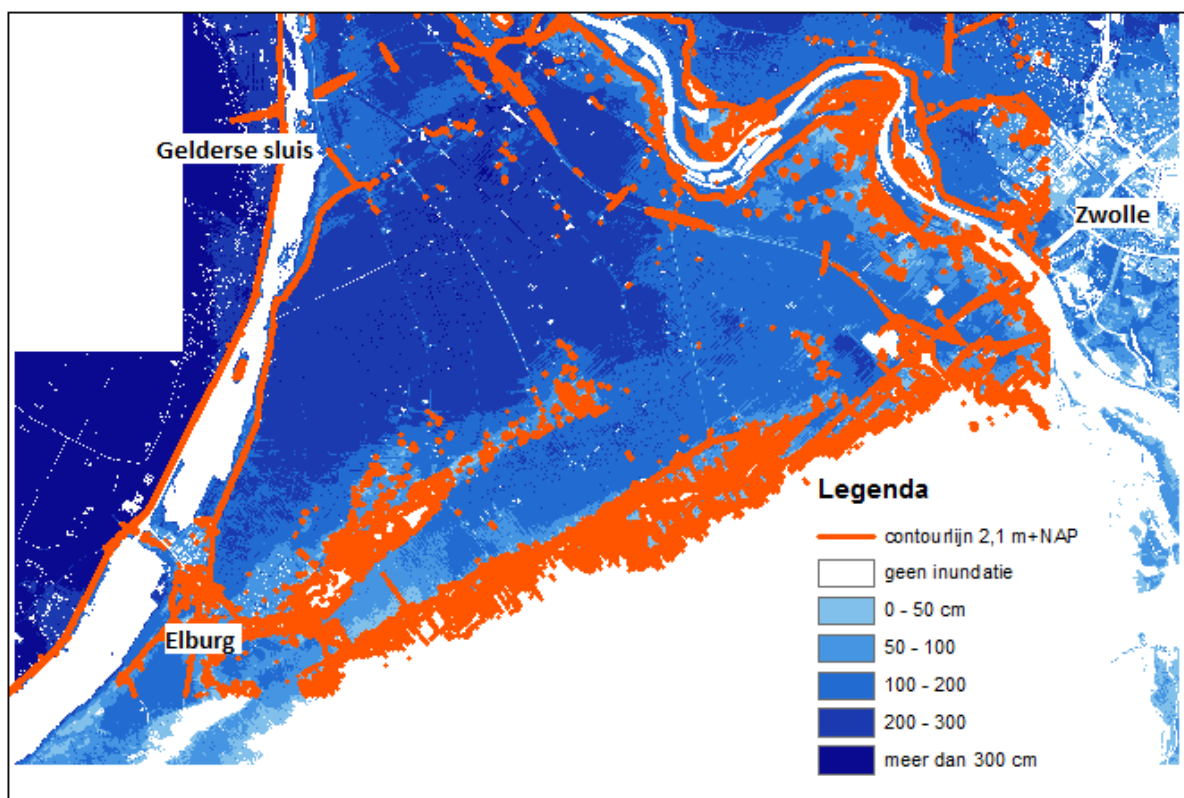
Waterschap Veluwe. (2012). *Gemaal De Wenden*. Opgehaald van http://www.veluwe.nl/water/waterpeil/gemalen/gemalen/de_wenden

Waterwet. (2009).

Bijlage 1 Figuren situatie Gelderse Sluis



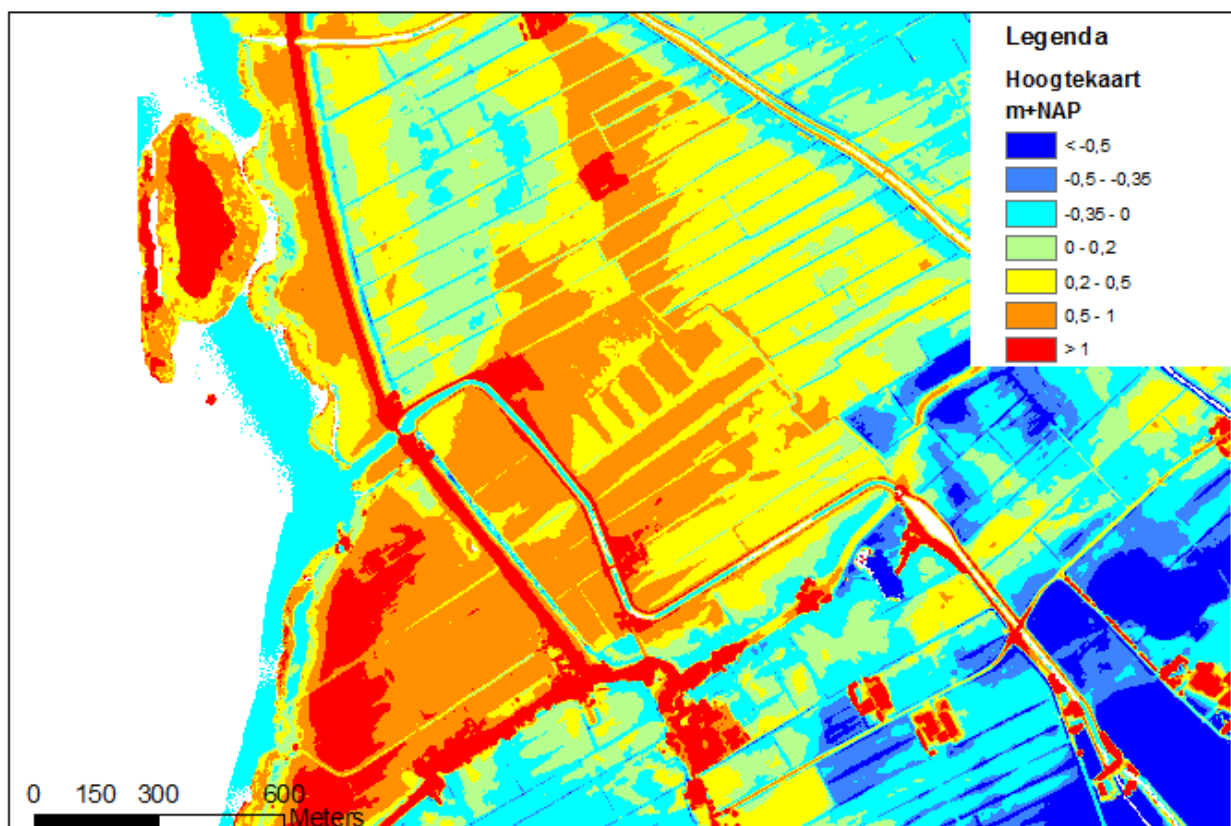
Figuur 14 Kaart van het watersysteem



Figuur 15 Inundatiekaart



Figuur 16 De Gelderse Sluis in eind jaren zeventig (Historisch Centrum Overijssel, 2013). De schotbalken zijn in twee openingen geplaatst en rechts is de defensieloods te zien. Opvallend detail is dat er nog twee kranen aanwezig zijn op de sluismuren. In de huidige situatie is dit er nog één.



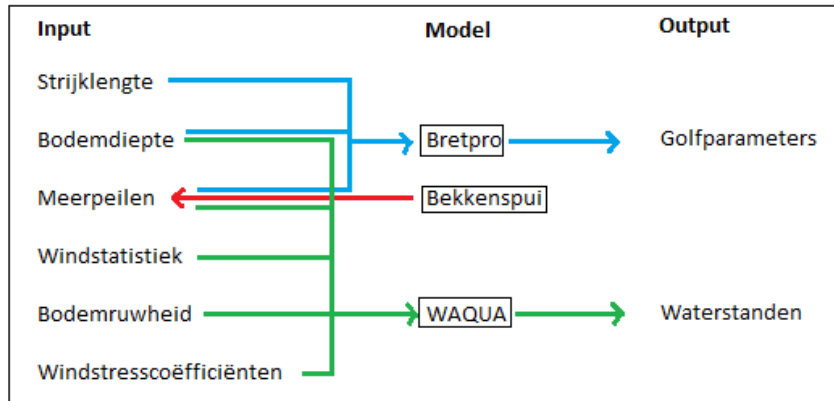
Figuur 17 Hoogtekaart van de Uitvliet (AHN)

Bijlage 2 Promovera

Promovera 3.0 HRC2006

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008

Dit programma is speciaal ontwikkeld voor de Veluwerandmeren en is gebaseerd op de programmatuur van Hydra-M. In figuur 18 is weergegeven hoe het programma globaal werkt. Er zijn drie rekenmodellen die gebruikt worden: Bekkenspui, Bretpro en WAQUA. (Rijkswaterstaat, 2004)



Figuur 18 Werking Promovera.

Bekkenspui

Bekkenspui is ontwikkeld binnen het WINBOS instrumentarium door RDIJ (Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied). Het is een programma gebaseerd op de modellering zoals in Sobek (Een modelleringsprogramma van Deltares). Bekkenspui modelleert de meerpeilen bij de spuicapaciteit van de afsluitdijk.

Bretpro

Bretpro is een eendimensionaal programma dat met eenvoudige berekeningen parameters van windgedreven golven berekent. Het is gebaseerd op de formules van Bretschneider voor de golfhoogte en golfperiode bij golfgroei door wind. Het is door HKV geschikt gemaakt voor het gebruik voor de Veluwerandmeren, maar is niet geijkt.

WAQUA

WAQUA is een tweedimensionaal stromingsprogramma ontwikkeld door Rijkswaterstaat. In opdracht van RDIJ heeft HKV de Veluwerandmeren hierin gemodelleerd.

Het model is gebaseerd op de tweedimensionale Shallow Water Equations zoals weergegeven in figuur 19, met als verschil dat in WAQUA een kromlijinig grid wordt gebruikt (Agtersloot Hydraulisch Advies, 2010) in plaats van een rechthoekig.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial y} (Hv) = 0$$

u, v	=	components of depth mean current $\bar{u}$
ζ	=	water elevation above plane of reference
h	=	water depth below plane of reference
H	=	$h + \zeta$
f	=	parameter of Coriolis
g	=	acceleration due to gravity
C	=	coefficient of Chezy to model bottom roughness
W_x, W_y	=	components of surface wind velocity $\bar{W}$
C_d	=	wind drag coefficient
ρ_a, ρ_w	=	density of air and water
ν	=	eddy-viscosity coefficient

Figuur 19 (Rijkswaterstaat, 2012)

De eerste twee vergelijkingen zijn hetzelfde opgebouwd (voor x- en voor y-richting) en zijn gebaseerd op de impulsbalans:

$$\underbrace{\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}}_{\text{versnelling}} - \underbrace{f v}_{\text{rotatie}} + \underbrace{g \frac{\partial \zeta}{\partial x}}_{\text{druk}} + \underbrace{g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h + \zeta)}}_{\text{bodemruwheid}} = \underbrace{\frac{\rho_a C_d W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho_w(h + \zeta)}}_{\text{wind}} + \underbrace{\nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)}_{\text{viscositeit}}$$

De derde vergelijking is gebaseerd op het behoud van massa.

In WAQUA wordt gebruik gemaakt van een grid waar per gridpoint vier variabelen zijn opgeslagen: de bodemdiepte, de waterstand, de snelheid u in m-richting en de snelheid v in n-richting.

Uitgangspunten

Er zijn een aantal gegevens nodig als input voor de berekeningen:

- Windstatistiek. Het dichtstbijzijnde windmeetstation van het KNMI is op vliegveld Lelystad. De omzetfactor naar de Veluwerandmeren is geijkt en is 0,85. De windstatistiek bestaat uit gemiddelde dagkansen van verschillende windsnelheden in windsectoren, zie tabel 16.

Tabel 16 Gebruikte windparameters

Windsectoren (°)	Windsnelheden (m/s)
0	14
30	19
60	22
90	25
120	28
150	31
180	34
210	38
240	42
270	
300	
330	

- Meerpeilen: Er wordt gerekend met de volgende meerpeilen (tabel 17).

Tabel 17 Gebruikte meerpeilen

Meerpeilen (m+NAP)
-0.35
-0.10
0.40
1.00

- Zeespiegelstijging. Hier wordt geen rekening mee gehouden omdat de uitbreiding van de spuicapaciteit van de afsluitdijk dit zou compenseren. De verandering van de wind door de klimaatverandering is wel van belang.

Bijlage 3 Programma van Eisen

1. Randvoorwaarden

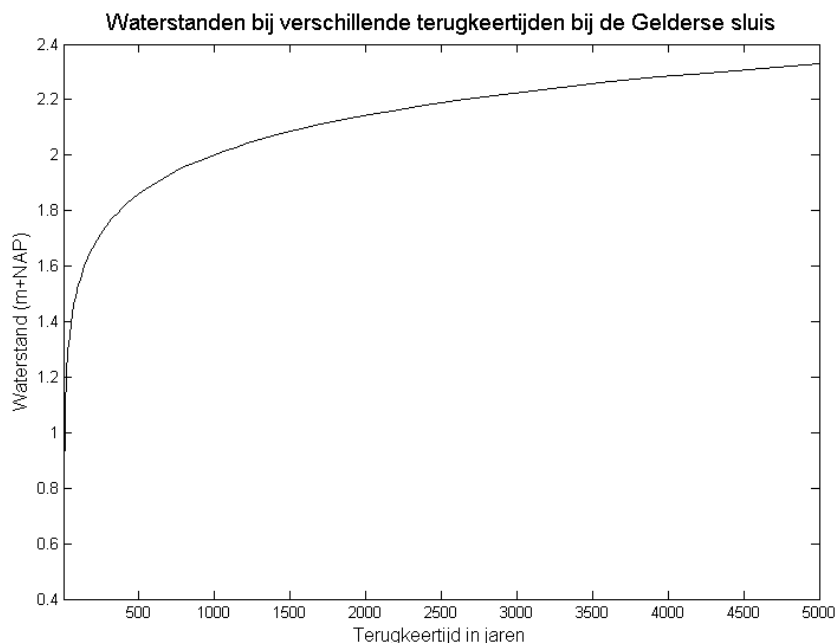
De algemene randvoorwaarde is dat de polders Oldebroek en Oosterwolde met voldoende betrouwbaarheid beschermd worden tegen overstromingen vanuit het Drontermeer, op de locatie van de Gelderse Sluis.

1.1. Natuurlijke randvoorwaarden

1.1.1. Hydraulische randvoorwaarden

Waterstanden

De optredende waterstanden op de locatie van de Gelderse Sluis zijn berekend met Promovera (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008). De terugkeertijden van verschillende waterstanden zijn weergegeven in figuur 20.



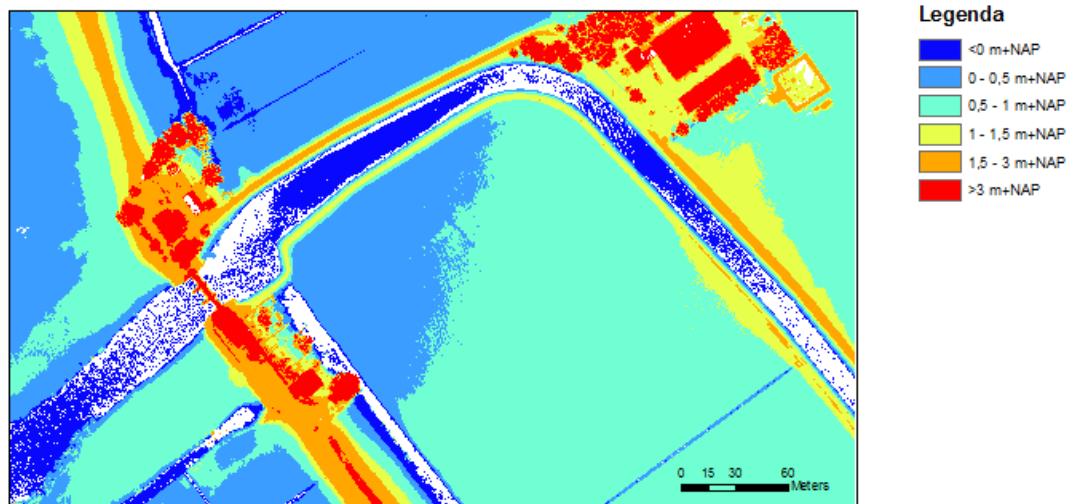
Figuur 20 Grafiek van de terugkeertijden van de waterstanden bij de Gelderse Sluis.

Golven

De significante golfhoogte die optreedt, is 0,81 m (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008).

Open Keerpeil

Het open keerpeil (OKP) is het niveau van de waterstand waarop de sluis nog net open is. Om dit te bepalen wordt gekeken welk peil de binnendijkse kering kan keren. De dijken langs de Uitvliet zijn recent aangelegd op 1,0 m+NAP (mondelinge communicatie, Joost Borgers, Vallei en Veluwe). Deze hoogte is ook aangehouden tijdens de toetsing en als een vergelijking met de hoogtekaart (figuur 21) wordt gemaakt, is te zien dat deze aanname juist is.



Figuur 21 Hoogtekaart. Gele, oranje en rode gebieden liggen boven 1 m+NAP.

Met Promovera is te bepalen wat de overschrijdingsfrequentie is van het OKP. Voor het peil 1,0 m+NAP is dit 1/7,5 per jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008).

1.1.2. Meteorologische randvoorwaarden

Wind

De maatgevende wind heeft een snelheid van 33 m/s (windkracht 11-12) en staat loodrecht op de randmeerdijk (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008).

1.1.3. Morfologisch

Bodem

De bodem in de omgeving bestaat uit kalkrijke poldervaaggronden met lichte zavel, zware zavel en lichte klei en podzolgronden (Bodemkaart Vallei en Veluwe, 2013). De randmeerdijk is een kleidijk.

1.2. Omgevingsrandvoorwaarden

1.2.1. Het systeem

Doorstroomcapaciteit

De Uitvliet stroomt vanaf gemaal De Wenden. Dit gemaal heeft vier vijzels die elk met elektrische aandrijving een capaciteit hebben van 2 m³/s (Waterschap Veluwe, 2012). In totaal is het debiet dat vanaf het gemaal komt dus 8 m³/s.

Stroomsnelheid

De stroomsnelheid bij een waterstand van -0,30 m+NAP (het winterpeil op het Drontermeer) ligt in de uitvliet op gemiddeld 0,34 m/s. In de sluis met één geopende deur stroomt het water met 0,80 m/s. Echter is ook zichtbaar dat het water ook door landinwaartse wind wordt meegenomen.

De volgende gegevens over de Uitvliet en de Gelderse Sluis zijn bekend (tabel 18 en figuur 22):



Figuur 22 De delen van de Uitvliet zijn in verschillende kleuren en met cijfers aangegeven.

Tabel 18 Gegevens van de Uitvliet

Profiel	H _{bodem (gem)} (m)	H _{peil} (m)	B _(gem) (m)	V _(gem)
1	-1,84	-0,3	21,9	0,24
2	-1,74	-0,3	12,3	0,45
3	-2,09	-0,3	13,4	0,33
4	-1,85	-0,3	17,3	0,30
5	-1,66	-0,3	24,3	0,24
Gelderse Sluis (met 1 opening open)	-2	-0,3	5,8	0,81

Het debiet door een vlak is te bepalen met de volgende formule (bij een uniforme stroming):

$$Q = A * v = h * B * v = (h_{peil} - h_{bodem}) * B * v_{gem}$$

Voor alle doorstroomprofielen is het debiet gelijk, namelijk 8 m³/s. Dan is met omgeschreven formule de gemiddelde snelheid in elk profiel te berekenen.

$$v_{gem} = \frac{Q}{(h_{peil} - h_{bodem}) * B}$$

Uitkomsten zijn weergegeven in tabel 18.

1.2.2. Bereikbaarheid

De locatie is van twee kanten bereikbaar via een smalle weg over de dijk. Voor de loods, aan de sluis kant, is een groter verhard stuk. Over de sluis loopt een fiets- en wandelpad. Op dit moment zijn de sluismuren niet toegankelijk.

Fietsroute

Over de sluis loopt een fietspad. Deze verbindt de twee wegen die van beide kanten op de sluis aankomen. Het fietspad is deel van het fietsknooppuntennetwerk en van een langeafstandsfietsroute.

Kanoverhuur

Aan de Uitvliet bevindt zich een kanoverhuurbedrijf. Mensen kunnen vanaf daar de randmeren bevaren.

1.2.3. Bebouwing

Woningen

Aan beide kanten van de sluis zijn woningen.

Loods

Aan de zuidzijde van de Uitvliet staat een loods die gebouwd is in de jaren vijftig. Deze heeft grote deuren en wordt gebruikt als opslagplaats en werkplaats door het Waterschap Vallei & Veluwe.

1.3. Wettelijke randvoorwaarden

1.3.1. Waterwet

Norm

In de Waterwet is geschreven dat dijkkring 11 een norm van 1/2000 heeft. Dit betekent dat er een kans van gemiddeld 1/2000 per jaar mag zijn dat het maatgevend hoogwaterniveau waarop de kering ontworpen is overschreden wordt.

1.3.2. Monumentenverordening

Monument

De Gelderse Sluis staat op de lijst van gemeentelijke monumenten van Oldebroek. Voor alle wijzigingen die aan het monument worden gedaan, moet een vergunning verleend worden door de gemeente, en deze moet goed gekeurd zijn door de monumentencommissie (Gemeenteraad Oldebroek, 2010).

1.3.3. Arbeidsomstandighedenwet

Veilig werken

Het is belangrijk dat het personeel dat de sluis moet bedienen, veilig kan werken. Bij het opstellen van de procedures moet rekening worden gehouden met de wetgeving voor arbeidsomstandigheden.

2. Eisen

2.1. Constructie

Aansluiting

De constructie moet volledig aangesloten zijn op de Randmeerdijk. Er wordt vanuit gegaan dat de Randmeerdijk zowel in het deel van Waterschap Vallei en Veluwe als het deel van Waterschap Groot-Salland voldoet aan de norm.

2.1.1. Hoogte

Maatgevende hoogwaterstand

Voor de dijkkring geldt een norm van de overschrijdingskans 1/2000 van de maatgevende hoogwaterstand (Waterwet, 2009). De maatgevende hoogwaterstand die de sluis dus moet keren is 2,1 m+NAP.

Overschrijding toelaatbaar volume

De gemiddelde kans dat het volume dat over het gesloten kunstwerk gaat groter is dan het toelaatbaar instroomvolume bij een gesloten kunstwerk moet kleiner zijn dan 1/2000 per jaar (TAW, 2003).

Golfoverslag

Het overslagdebiet dat over de kering slaat, mag geen waterstroom opwekken met een snelheid groter dan 0,3 m/s. Dan ontstaat er erosie aan de bodem (Taww, 2010).

2.1.2. Sterkte en stabiliteit

Belastingen

De constructie moet een belasting door water en golven kunnen afdragen van 40,08 kN/m². Deze belastingen zijn berekend in bijlage 6.

Bezwijken van de constructie

De gemiddelde kans op het constructief bezwijken van de constructie bij een waterstand die onder de maatgevende waterstand ligt, moet kleiner zijn dan 1/200000 (0,01*1/2000) per jaar (TAW, 2003).

2.1.3. Betrouwbaarheid van de sluiting

Faalkans sluiting

De gemiddelde kans op het overschrijden van het toelaatbaar instromend volume bij een geopend kunstwerk moet kleiner zijn dan 1/20000 (0,1* 1/2000) per jaar (TAW, 2003).

2.2. Omgeving

Bereikbaarheid

Het kunstwerk moet tijdens normale waterstanden bereikbaar zijn voor onderhoud. Tijdens hoogwater moeten de sluitingsmechanismen bereikbaar zijn. De woningen naast de sluis moeten te allen tijde bereikbaar zijn.

2.3. Uitvoering

Overlast bewoners

De overlast voor de bewoners van de woningen naast de Gelderse Sluis tijdens de bouw moet beperkt worden.

Bereikbaarheid

De bereikbaarheid van de woningen naast de Gelderse Sluis en de Gelderse Sluis zelf moet gegarandeerd worden tijdens alle fases van de bouw.

Functie Uitvliet

Tijdens de bouw moet het gemaal blijven werken, de uitwateringsfunctie van de Uitvliet moet gegarandeerd zijn.

2.4. Gebruik & Onderhoud

Aanwezige documenten

Bij het kunstwerk moet een bedieningsplan worden opgesteld. Er moeten een objectnoodplan en een risicoanalyse zijn.

3. Wensen

Doorvaarbaarheid

De doorgang van de Uitvliet naar het Drontermeer moet in de zomer (1 april tot 15 oktober) doorvaarbaar zijn in verband met de kanoverhuur.

Uitzicht

De bewoners van de woningen nabij de sluis moeten niet beperkt worden in hun uitzicht.

Bijlage 4 Inpassing van kansrijke varianten

Overloopgebied

Werking

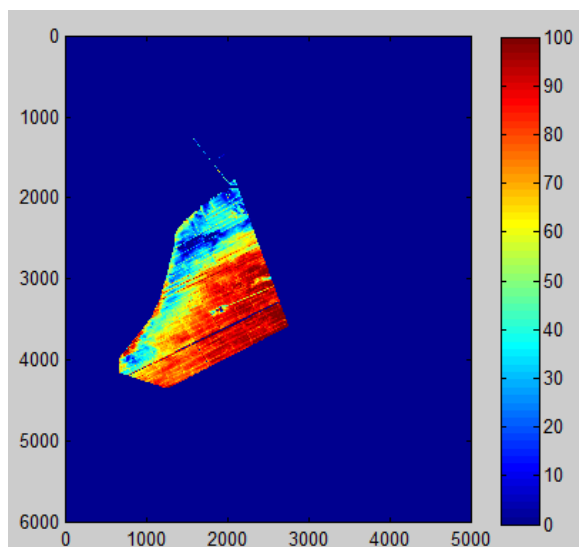
Als de deuren niet dichtgaan of als er een deur doorbreekt stroomt het opgestuwde water van het Drontermeer ook de Uitvliet in. In de Uitvliet zit dan een overlaat zodat het water in een aangewezen overloopgebied kan stromen. Daar kan het blijven tot het hoogwater zakt. Daarna moet het teruggepompt worden naar de Uitvliet.

Materialen

Er is een overlaat nodig, waar ook een pomp in kan worden gezet om het water terug te pompen. Verder kan de natuurlijke ligging van de polder gebruikt worden.

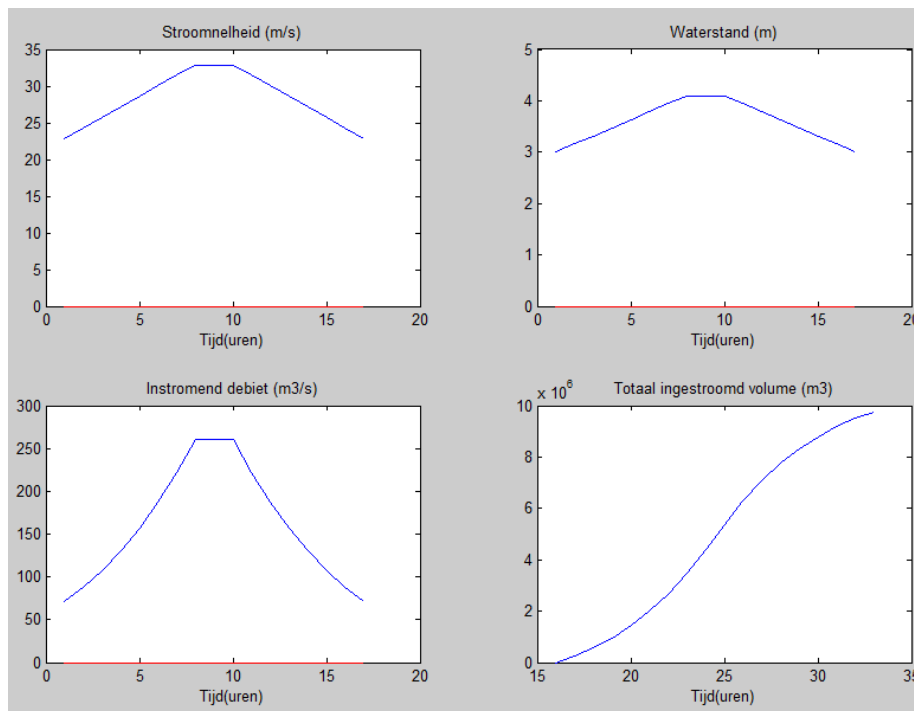
Inpassing en omgeving

Het is een gebied van ongeveer $2,7 \text{ km}^2$, waar met de huidige bodemligging en een peil van $0,3 \text{ m+NAP}$, een volume van $1,77 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ kan worden opgeslagen. De inundatiedieptes zijn weergegeven in de kaart van figuur 23. Om van de Uitvliet naar het grote, zuidelijk gelegen gebied te komen, moet het water het dorp Noordeinde passeren. Dit kan door middel van een duiker.



Figuur 23 Kaart van de inundatiedieptes in centimeters van het overloopgebied.

Om een snelle berekening te maken voor de instroom van water door een geopende of doorgebroken deur, wordt een parabolisch aflopend stroomsnelheidsprofiel gebruikt en het instroomoppervlak door de sluisopening. Verder is de windopzet recht evenredig met de windsnelheid en dit verloop is zoals in paragraaf 4.2 (figuur 3). In figuur 24 zijn verschillende grafieken te zien die het verloop van de wind, de waterstand en het instroomdebiet weergeven. Er zal in 15 uur ongeveer $9,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ instromen, dit kan dus niet allemaal geborgen worden in het overloopgebied. Deze maatregel werkt alleen bij kortere stormen, of lagere windsnelheden (zie tabel 19).



Figuur 24 Grafieken van variabelen tijdens het stormverloop

Tabel 19 Bergingen bij verschillende stormen

Benodigde berging	Windsnelheid	Maximaal waterstand	Uren instroom
9,3 Mm ³	32,89 m/s	4,1 m	15
5,9 Mm ³	28,6 m/s	3,7 m	11
3,1 Mm ³	26 m/s	3,4 m	7

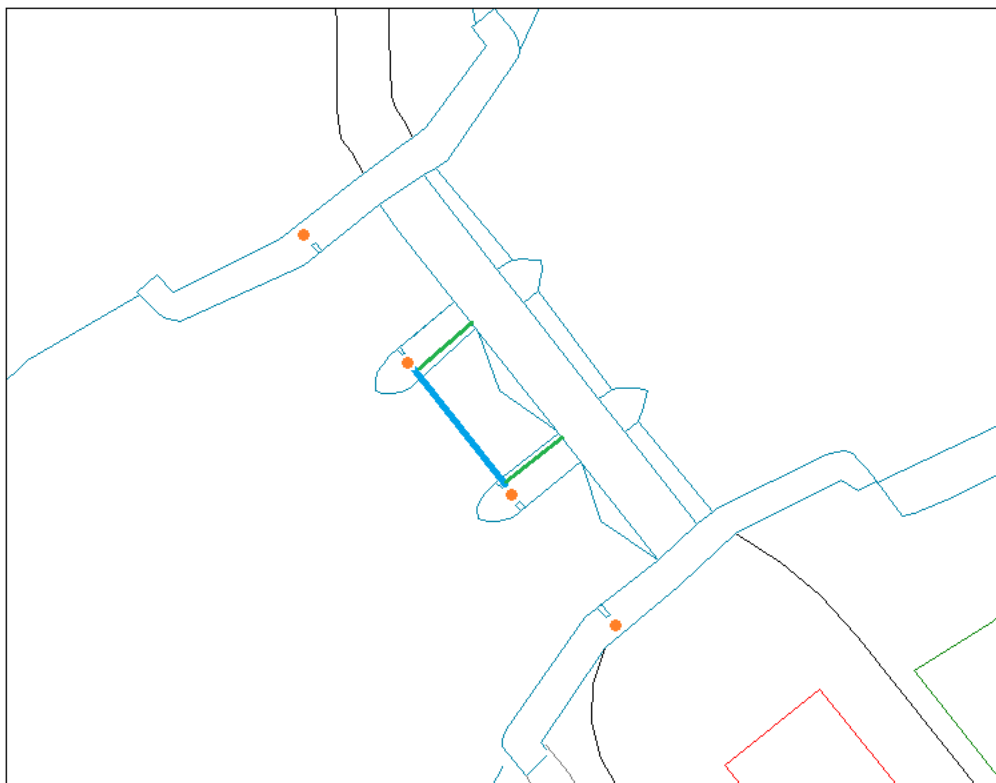
Schotbalken

De stalen buizen

De buizen hebben een lengte van 7,2 meter, om de opening van 6,7 meter te blokkeren en aan beide zijden 25 centimeter sponningdiepte. De diameter van de rollen is afhankelijk van de breedte van de sponning. Er wordt aangenomen dat die 30 centimeter bedraagt. Met buizen van 25 centimeter zijn er 20 buizen nodig om tot een kerende hoogte van 3 m+NAP te komen. Dit is dezelfde hoogte als de deuren. Met een dikte van 5 mm is het gewicht van één buis ongeveer 216 kg. De buizen zijn open, waardoor het water erin loopt tijdens het laten zakken van de kering. De definitieve dimensies zullen afhangen van de benodigde sterkte.

Constructie

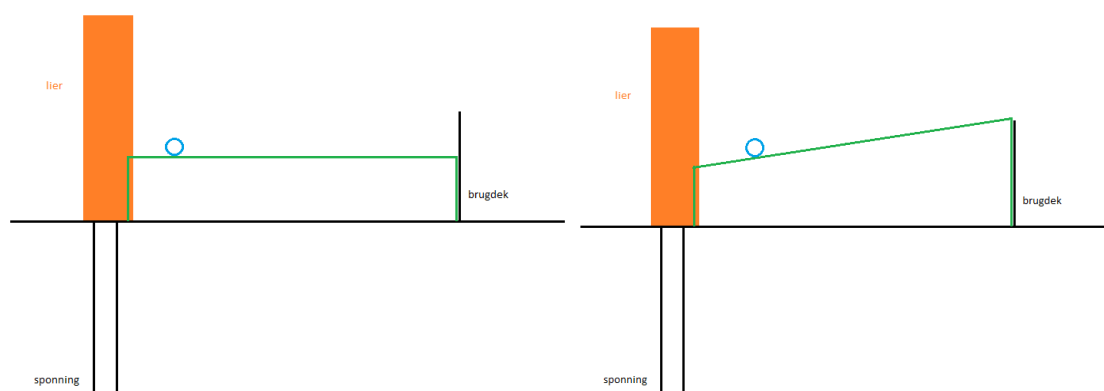
Om de Gelderse Sluis geschikt te maken voor het gebruik van stalen rollen als schotbalkkering zijn een aantal aanpassingen nodig. Er moeten twee handlieren geplaatst kunnen worden bij de sponningen zodat de schotbalken naar beneden kunnen worden gelaten (zie figuur 25). In de sponningen moet een profiel worden gezet (U-profiel of hoekprofiel) waarin de buizen precies passen en waardoor de rolweerstand wordt verkleind. Om de schotbalken van de brug naar de lieren te krijgen is een ondersteuning nodig waar de buizen overheen kunnen rollen.



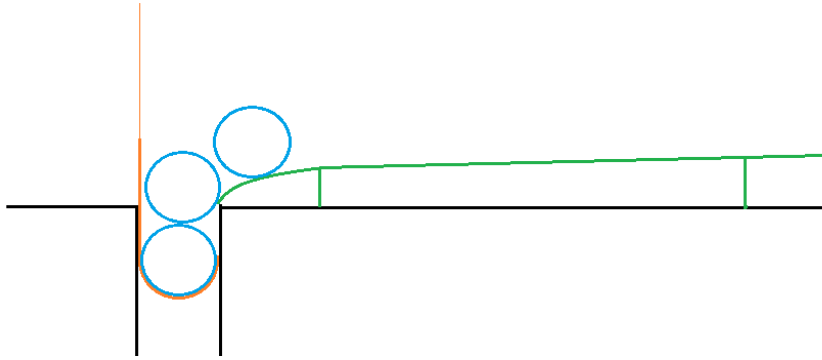
Figuur 25 Situatie (GBKN) met in oranje de posities voor de lieren, in blauw de stalen rollen in de sponningen en in groen de rollerbank om de rollen op hun plek te krijgen.

Rails

De ondersteuning kan bijvoorbeeld bestaan uit een hoekprofiel aan beide kanten waar de buizen vrij over kunnen rollen. De rails kan horizontaal of met een kleine helling worden gemaakt (figuur 26). Om flexibel inzetbaar te zijn zal de rails verplaatsbaar moeten worden. Vanaf het brugdek tot de lier is het een afstand van vier meter die afgelegd moet worden. Als de reling bij het brugdek blijft zoals het is, is er een hoge rails nodig, zodat de buizen niet ver getild hoeven te worden. Indien de brugreling weggehaald kan worden kan de rails lager, en kunnen de buizen zo de sponning inrollen (wel onder begeleiding) (zie figuur 27).



Figuur 26 Zijaanzicht sluismuur met horizontale of aflopende rails. (oranje=lier, groen=rollerbank, blauw=stalen rol)



Figuur 27 Lage rails

Lier

De lier is met de hand te verplaatsen en te bedienen. Aan de lier moet een haak bevestigd worden die precies om de buis heen past (zie figuur 27). Deze haak moet zo geconstrueerd zijn dat er geen grote wrijving ontstaat met de buis, zodat die kan blijven rollen. De haak moet blijven zitten om de buizen ook weer omhoog te kunnen halen. Aan de haak moet een kabel of touw zitten die stevig genoeg is voor de trekspanning die erop komt.

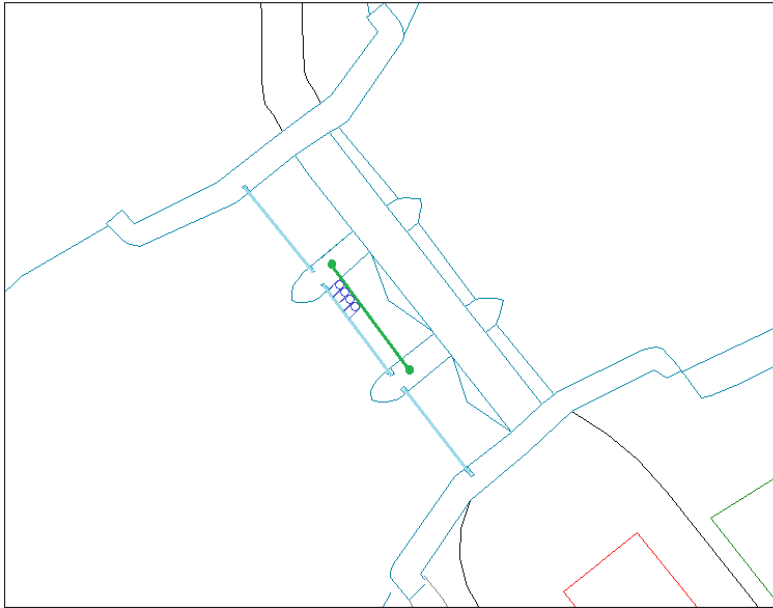
Bediening en veiligheid

Als eerste stap in het proces moet de rollerbank boven de betreffende sluisopening geplaatst worden. De rollen moeten opgeslagen worden in de loods naast de Gelderse Sluis. Vanaf daar moet de rol met een kar naar het brugdek gebracht worden. Deze kar moet zo ontworpen worden dat de buizen in de lengterichting verplaatst kunnen worden over het brugdek. Vanaf het brugdek wordt de rol op de rails geplaatst waarmee hij naar de lier verplaatst wordt. Er moeten mensen beschikbaar zijn die op de sluiswanden de rollen begeleiden en mensen die de lieren bedienen. Bij de lier wordt de buis vastgemaakt en naar beneden gelaten in de sponning. Omdat er mensen op de sluiswand staan bij harde wind, is het nodig om een aanlijning te hebben.

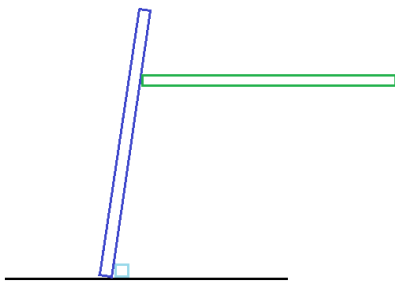
Naaldkering

Werking

Naaldkeringen bestaan uit buizen die vanaf de brugligger over de sluis in het water worden gezet. In bronnen zijn verschillende uitspraken gedaan over deze kering. Van Leusen (1999) stelt dat ze in stromend water kunnen worden aangebracht, terwijl de US Geological Survey (1982) het heeft over de moeilijkheid van het plaatsen in een stroming. Aangenomen wordt dat bij plaatsing vanaf een brugligger en bij goede positionering op de sluisvloer, de 'naalden' bestand zijn tegen stromend water. Om de naalden niet te laten wegklappen tijdens het plaatsen door de stroming, kan een geleidingsframe worden ontworpen.



Figuur 28 De naalden tegen de drempel en de ligger



Figuur 29 zijaanzicht van de naalden

Constructie en materialen

De naalden moeten op de bodem steunen. Dit kan tegen een drempel of in een sleuf. Aan de bovenkant steunen de buizen tegen een ligger.

Afmetingen

Deze buizen zouden zo licht moeten zijn dat ze met de hand geplaatst kunnen worden. Bij de Gelderse Sluis hebben deze buizen een lengte van 5 meter, vanaf de drempel op de vloer tot de brugligger. Een snelle berekening leert dat ronde, stalen buizen met een diameter van 14 cm en een dikte van 3 mm dan een gewicht van 50 kg zouden hebben. Dit mag vanuit de arbowetgeving getild worden met twee mensen (Stichting Arbouw, 2009). Aan de onderkant zijn de buizen open, en aan de bovenkant bevindt zich een handgreep. Met een diameter van 14 cm zijn er 48 buizen nodig.

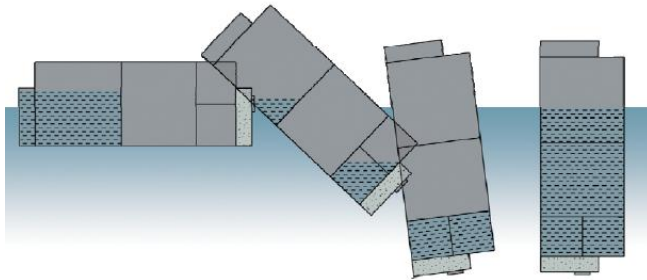
Inpassing en omgeving

Er kan een permanente drempel gesitueerd worden door één balk te laten zakken in de sponningen. De ligger waar de naalden tegenaan moeten staan, moet dan ook ter hoogte van de sponningen komen. Om de krachten goed af te kunnen dragen moet de ligger verankerd zijn aan de sluiswanden. Er kan een platform gelegd worden over de sluisopening, boven de deuren. Vanaf daar kunnen de buizen in het water worden gezet (zoals in figuur 28). Personeel moet gezekeerd zijn als er wordt gewerkt op het platform.

Drijvend caisson

Werking

Om niet te hoeven hijsen met grote windsnelheden kan gebruik worden gemaakt van een drijvend afsluitmiddel. Een stalen vlot met compartimenten gevuld met lucht kan al drijvende naar de sluis worden gebracht (getrokken). Daarna kan er een klep worden geopend waardoor er water naar binnenloopt en het vlot gaat kantelen. Dit gaat zo door tot de wand staat en de opening afsluit (figuur 30). Om het caisson niet tegen de sluismuren aan te laten klappen, kunnen buffers en rollen gebruikt worden.



Figuur 30 het kantelen van het drijvende caisson voor de sluizen in de Tennessee River (US)

Als het hoogwater weg is, kan er een pomp worden aangesloten die lucht in het caisson pompt en daarmee het water naar buiten. Al drijvende kan het vlot worden weggesleept.

Constructie en materialen

Het caisson wordt van staal gemaakt. Er zijn verschillende compartimenten waar water in en uit kan stromen om het drijven en het kantelen te coördineren. Er is een pomp op de kant die er voor zorgt dat water of lucht in het caisson komt. Die pomp wordt met een slang aan het caisson verbonden.

Afmetingen

Om een opening af te sluiten moet het vlot afmetingen hebben van vijf meter lang bij zeven meter breed. Als er uit wordt gegaan dat de dikte afhankelijk is van het te keren oppervlak en de Kentucky River floating caisson als voorbeeld wordt genomen, zou een dikte van 0,5 meter goed zijn. Het caisson weegt dan ongeveer 4600 kg. Dit is de massa in staal en de ballast op de drempel aan de onderkant.

Inpassing en omgeving

Het caisson kan gestationeerd zijn vlakbij de Gelderse Sluis. Dit kan aan een steiger zodat het vanzelf gaat drijven bij hoogwater of in een loods zodat het het water in getild kan worden vanaf de dijk indien nodig. Op de laatste manier is er meer bescherming tegen corrosie.

Bijlage 5 Criteria

De volgende criteria zijn belangrijk voor de keuze van een oplossingsvariant. Ze zijn afgeleid van de doelstelling zoals die is geformuleerd in de inleiding.

Effectief

Er zijn geen aanpassingen nodig aan de maatregel voor de werking tijdens de omstandigheden zoals beschreven in de Hydraulische Randvoorwaarden.

Het belangrijkste is dat de maatregel bereikt waar hij voor gemaakt is. Met aanpassingen aan de constructie is elk van de vier alternatieven toepasbaar. Het is echter wenselijker om het alternatief toe te kunnen passen zonder aanpassing, omdat dit de eenvoud en de kosten benadeeld. Dit aspect is zeer belangrijk, dus krijgt een weging die drie keer hoger is dan de andere criteria.

De constructie is eenvoudig

Het gaat hier om weinig materialen en weinig specialistische constructies.

Het onderhoud is eenvoudig

Ook in de periode dat de maatregel niet gebruikt wordt, is er onderhoud nodig. Het beste is om een oplossing te hebben waar weinig naar omgekeken hoeft te worden.

Lage kosten

De kosten zijn laag.

Aan de invoer van een maatregel zijn natuurlijk kosten verbonden. Dit zit in de materialen, de mate van specialistisch werk en de bouw. Ook voor de inzet van de maatregel kunnen kosten een rol spelen, bijvoorbeeld de inhuur van materieel. Op de kosten letten is een belangrijk punt, want geld is er niet in overvloed. En zeker bij een maatregel die naar verwachting niet vaak ingezet gaat worden, is er geen budget voor extra's.

Houdt de omgeving intact

De maatregel verandert zo min mogelijk het uiterlijk van de sluis.

Vanwege de status van gemeentelijk monument is het belangrijk dat de sluis haar karakter behoudt. Dat karakter is gevormd door de historie als uitwateringssluys op de Zuiderzee en door de inzet bij de IJssellinie (zoals beschreven in paragraaf 2.2). Er moeten geen grote constructies bij de sluis gebouwd worden. Ook vanuit het oogpunt van de omwonenden is dit ongewenst. Dit criterium geldt alleen voor de momenten dat de maatregel niet wordt ingezet.

Bijlage 6 Constructieberekeningen

B6.1 Buizen

B6.1.1 Belastingen

Golfbelasting

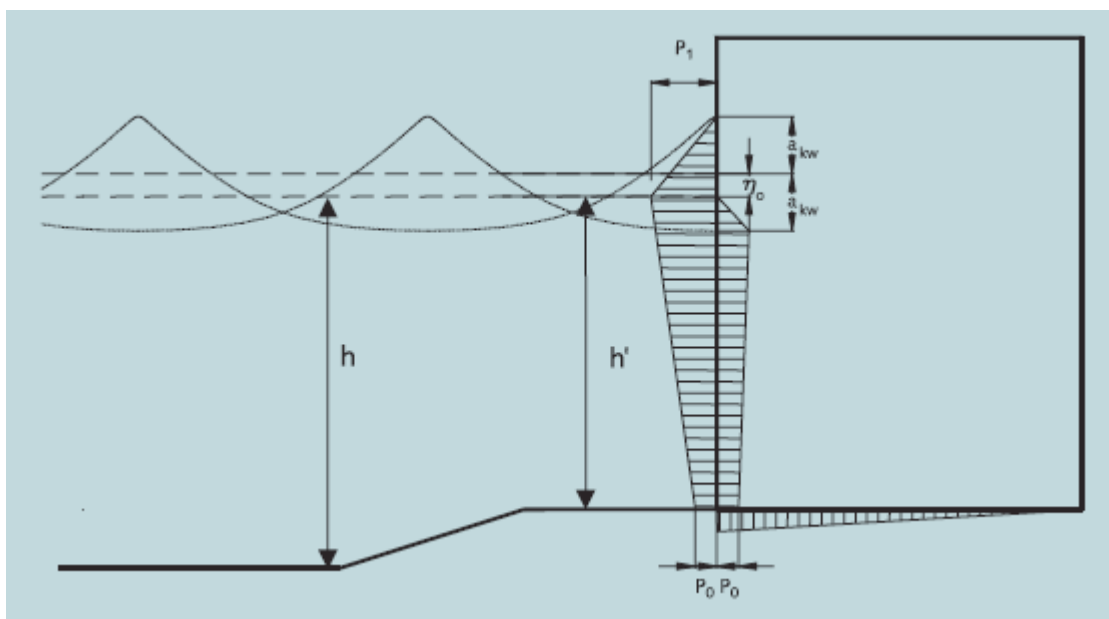
Uit Promovera volgt:

- Significante golfhoogte $H_s=0,81$ m
- Golfperiode $T=3,4$ s
- Waterdiepte $h=4,1$ m (MHW – drempeldiepte = 2,1 m+NAP - -2 m+NAP)

Met de golfperiode en de significante golfhoogte kan de golflengte bepaald worden met de grafiek in Leidraad Kunstwerken (B5.4, p.221). De golflengte L is ongeveer 10,8 meter.

Ontwerpgolfhoogte $H_d=2,2 * H_s= 1,78$ m

Het model van Sainflou is gebruikt om de belasting te berekenen. Dit is een eenvoudige methode waarbij weinig invoergegevens nodig zijn en een conservatieve schatting geeft. Omdat het om een eenvoudige berekening gaat bij niet brekende golven, is dit model gekozen (zie ook figuur 31).



Figuur 31 Het model van Sainflou (TAW, 2003).

Om tot het beeld als in figuur 31 te komen, worden een aantal formules gebruikt.

- $a_{kw} = H_d$
- $\eta_0 = \frac{1}{2} k a_{kw}^2 \coth(kh)$
Met $k = \frac{2\pi}{L}$
- $P_1 = \rho g (a_{kw} + \eta_0)$ De maximale druk ter hoogte van de middenwaterstand.

- $P_0 = \frac{\rho g a_{kw}}{\cosh(kh)}$ De druk aan de bodem.

Invullen met de gegevens die bekend zijn levert de volgende resultaten op:

$$\begin{aligned}\eta_0 &= 0,940 \text{ m} \\ p_1 &= 26\,698 \text{ N/m}^2 \\ p_0 &= 3\,192 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

Waterdruk

De waterdruk verloopt lineair met de diepte. Aan het oppervlak is het nul, en op de bodem is de druk maximaal. De waterdruk wordt bepaald met de volgende formule:

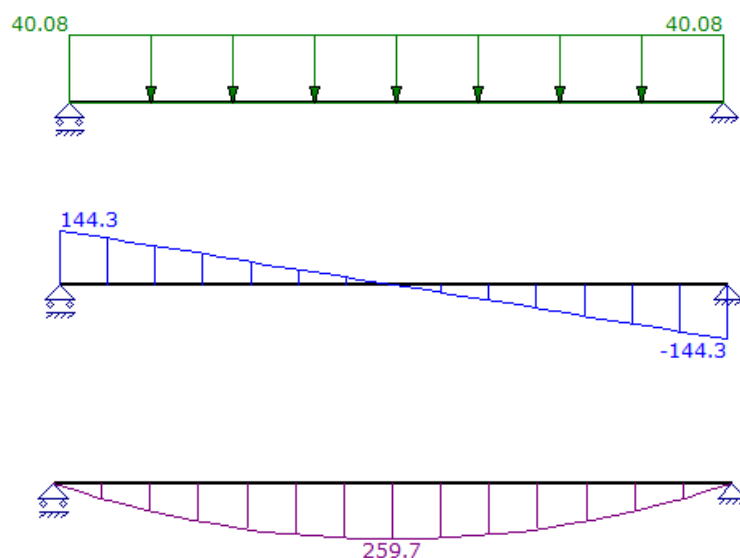
$$P_w = \rho g h$$

Aan de buitenkant is de maatgevende waterdiepte 4,1 m. Aan de binnenkant wordt uitgegaan van een waterdiepte van 2 m (0 m+NAP). De maximale waterdrukken aan de bodem zijn dan:

$$\begin{aligned}P_{w,\text{binnen}} &= 19\,620 \text{ N/m}^2 \\ P_{w,\text{buiten}} &= 40\,220 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

B6.1.2 Sterkte van de buizen

De belastingen zijn gecombineerd en hebben een belastingsfactor van 1,25 meegekregen (Volgens Leidraad kunstwerken, TAW, 2003). De maatgevende belasting is 40,08 kN/m² (zie ook figuur 11). Resulterende belasting-, dwarskrachten- en momentenlijn zijn weergegeven in figuur 32. Dit moet nog vermenigvuldigd worden met het oppervlak van de balk waar de belasting op werkt (de helft van de omtrek: $h = \frac{1}{2} * 2\pi R$).



Figuur 32 belasting, dwarskrachten en momenten op een buis (in kN en meters, alles is per meter hoogte van de balk) (Matrix Software)

Keuze voor profiel

De eerste keuze voor een profiel wordt gemaakt op basis van de doorbuiging. Het maximale moment in de buis mag niet groter zijn dan de plastische momentweerstand (Snijder & Steenbergen, 2011). Deze plastische momentweerstand is afhankelijk van de vloeigrens f_y (355 N/mm² bij S355) en het plastisch weerstandsmoment van de doorsnede W_{pl} .

$$M_{pl} = W_{pl} * f_y$$

De doorsneden moeten voldoen aan : $\frac{M_{max}}{M_{pl}} \leq 1$.

In tabel 20 zijn een aantal mogelijke profielen weergegeven, die voldoen aan het criterium voor de plastische buiging.

Tabel 20 Gegevens voor verschillende profielen.

Buisprofielen (S355)	193,7 x 10	219,1 x 8	244,5 x 7,1	273 x 6,3
Belasting q	12,2 kN/m	13,8 kN/m	15,4 kN/m	17,2 kN/m
Dwarskracht V _{max}	44 kN	50 kN	55 kN	62 kN
Moment M _{max}	79 kNm	89 kNm	100 kNm	111 kNm
Plastisch weerstandsmoment W _{pl}	252 000 mm ³	270 000 mm ³	305 000 mm ³	344 000 mm ³
Plastisch momentweerstand M _{pl}	89 kNm	96 kNm	108 kNm	122 kNm
Aantal buizen	26	23	20	18
Gewicht per buis	326 kg	300 kg	300 kg	298 kg
Totaal gewicht	8 480 kg	6 889 kg	5 990 kg	5 365 kg

Het profiel met het minste staal is 273 x 6,3 mm. Echter is de ruimte in de sponning erg krap bij deze grote buizen, omdat hier ook de hijsbanden nog langs moeten. Om deze reden wordt gekozen voor een iets zwaardere oplossing, die een maatje kleiner is: profiel 244,5 x 7,1. Het totale gewicht is dan 5990 kg.

Toetsen

De buizen voldoen dus al aan de eis voor de plastische buiging. Verder wordt er nog getoetst op de afschuiving en de vervorming. Hieruit blijkt dat het profiel 244,5 x 7,1 voldoet.

Afschuiving

Voor afschuiving door dwarskrachten geldt:

$$\frac{V_{ED}}{V_{pl}} \leq 1$$

Waarbij:

$$V_{pl} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{2A}{\pi} * \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Deze plastische dwarskrachtweerstand is 691 kN. De maximaal optredende dwarskracht is 55 kN (zie tabel 20), dus de verhouding is 0,08 en dit is kleiner dan 1.

⁴ De partiële factor voor de weerstand van de doorsnede γ_{MO} is 1,0, dus is weggelaten uit de vergelijking.

Vervorming

Voor de vervorming is de eis:

$$\frac{\varphi_{opt}}{\varphi_{toel}} \leq 1$$

De toelaatbare vervorming φ_{toel} is 2° . Bij deze hoek komen de buizen nog niet vast te zitten in de sponningen, en is de verwachting dat ze nog steeds kunnen rollen.

De optredende vervorming kan berekend worden met de formule:

$$\varphi_{max} = \frac{ql^3}{24EI}$$

Waarbij I het traagheidsmoment van de doorsnede is. Bij de doorsnede van buis 244,5 x 7,1 is de vervorming:

$$\varphi_{max} = \frac{ql^3}{24EI} = \frac{15,4 * 7\,200^3}{24 * 210\,000 * 37\,340\,000} = 0,0305 \text{ rad} = 1,7^\circ$$
$$\frac{\varphi_{opt}}{\varphi_{toel}} = \frac{1,7}{2} = 0,85 < 1$$

Dus ook de vervorming voldoet aan de eisen.

Invloed eigen gewicht

De maatgevende situatie voor de verticale kracht die werkt op de buizen (en vooral de onderste buis) is het eigen gewicht van de buizen als ze allemaal in de sponning zitten. De zwaartekracht van de bovenliggende buizen werkt dan op de onderste buis. Deze is gereduceerd door de opwaartse kracht van het water (wet van Archimedes) voor de onderste acht buizen die onderwater zijn. De totale kracht die er dan op werkt is:

$$F = F_z - F_w = m * g - V * \rho_w * g$$
$$F = 19 * 300 * 9,81 - 8 * 0,03813 * 1000 * 9,81 = 52\,925 \text{ N}$$

De belasting werkt per meter over de lengte tussen de spanbanden. Als dit aangenomen wordt voor 7,2 m is de belasting 7,4 kN/m. Dit zorgt voor een doorbuiging in het midden van de buis van 32 mm, zie onderstaande vergelijking.

$$f_m = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 * 7,4 * 7200^4}{384 * 210\,000 * 37\,340\,000} = 33 \text{ mm}$$

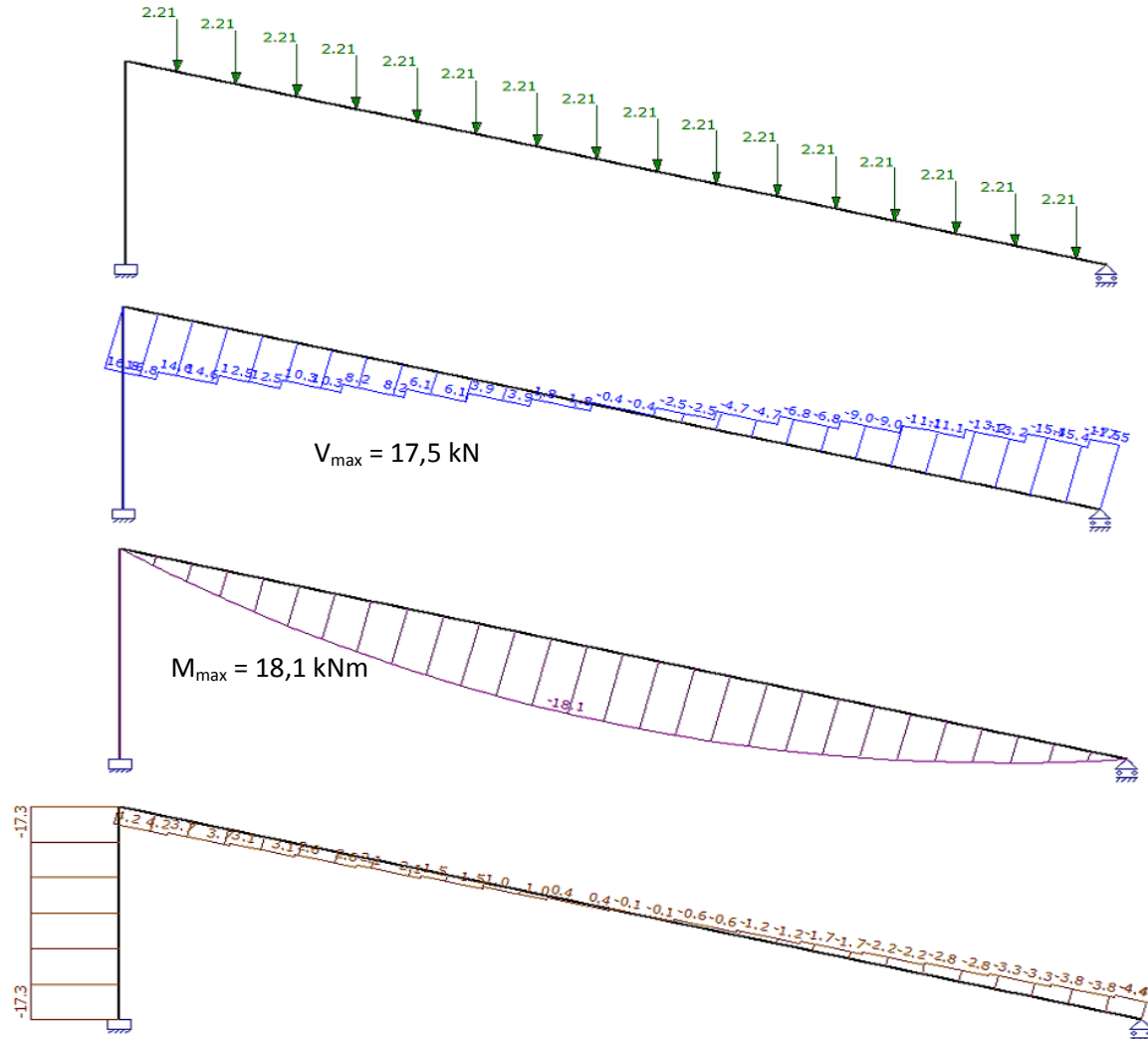
Deze vervorming kan optreden tijdens het laten zakken van de kering. De situatie verandert als de buizen op de bodem rusten. Een eventuele kleine opening in de kering door vervorming zal geen ernstige instroom veroorzaken.

B5.2 Rails

De belasting die op de rails werkt is de component van de zwaartekracht op de buizen, verdeeld over twee rails. Deze wordt als volgt berekend, met een belastingsfactor van 1,5 (voor veranderlijke belasting):

$$F_B = 1,5 * \frac{1}{2} * 9,81 * 300 = 2207 \text{ N}$$

De uitwerking van deze belastingen op de rails is te zien in figuur 33.



Figuur 33 Belasting, dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op de rails (in kN en meters) (Matrix Software)

Keuze voor profiel

Voor de rails moet ook een profiel gekozen worden. Deze bestaat in ieder geval uit een stalen plaat waar de buizen overheen rollen. Om te voorkomen dat buizen gemakkelijk van de rails afrollen, worden de platen 25 cm breed. Voor de stabiliteit is er ook een verticaal deel, dit helpt tevens om de buizen op de rails te houden.

Om een schatting te maken van het benodigde profiel wordt gebruik gemaakt van de formule:

$$W_{el} = M_{max} / f_y$$

Bij staalsoort S355 is het benodigde weerstandsmoment $50\,986 \text{ mm}^3$. Dit kan bereikt worden met het T-profiel (90° gedraaid) 150 x 100 x 250 x 5 x 5.

Toetsen

De rails voldoen dus al aan de eis voor de elastische buiging. Verder wordt er nog getoetst op de afschuiving en de vervorming.

Afschuiving

Voor afschuiving door dwarskrachten geldt:

$$\frac{V_{ED}}{V_{el}} \leq 1$$

Waarbij:

$$V_{el} = A_w * \frac{f_y}{\sqrt{3}} = t_w h * \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 250 * 5 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 256\,199\,N$$

Deze elastische dwarskrachtweerstand is 256 kN. De maximaal optredende dwarskracht is 17,5 kN (zie figuur 33), dus de verhouding is 0,07 en dit is kleiner dan 1.

Vervorming

Voor de vervorming is de eis:

$$\frac{f_{max}}{f_{toel}} \leq 1$$

De toelaatbare vervorming f_{toel} is 50 mm. Dan kunnen de buizen er nog goed overheen rollen. De optredende vervorming kan berekend worden met de formule:

$$f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

Waarbij q wordt benaderd door $q = \sum F / l$ en I het traagheidsmoment van de doorsnede is. Bij het gekozen profiel is de vervorming:

$$f_{max} = \frac{5ql^4}{384EI} = \frac{5 * (16 * 2,21) / 4,12 * 4\,120^4}{384 * 210\,000 * 7\,301\,927} = 21\,mm$$
$$\frac{f_{max}}{f_{toel}} = \frac{21}{50} = 0,42 < 1$$

Dus ook de vervorming voldoet aan de eisen.

Druk

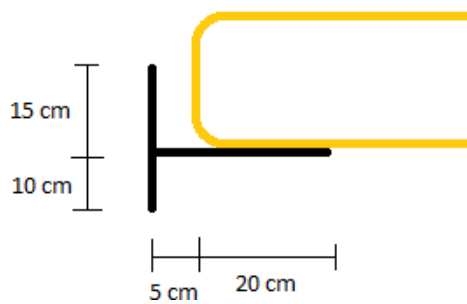
Voor staven belast op druk geldt de volgende eis:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

De optredende normaalkracht in de rails is 4,4 kN (figuur 34)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{N_{Ed}}{A f_y} = \frac{4400}{2500 * 355} = 0,005$$

Dit is kleiner dan 1, dus het profiel voldoet aan de eis voor druksterkte.



Figuur 34 Een buis op het T-profiel.

B6.3 Kolom

De kolom moet het gewicht van de rails opvangen. De normaalkracht die op de kolom werkt is te zien in figuur 33 en het gewicht van de rails komt hier nog bij. Dit is 17,3 kN plus het volume van de rails maal het soortelijk gewicht.

$$N_{kolom} = 17,3 + \frac{\frac{1}{2} * A * l * 7800 * 9,81}{1000} =$$

$$17,3 + \frac{\frac{1}{2} * 0,0025 * 4,12 * 7800 * 9,81}{1000} = 17,3 + 0,8 = 18,1 \text{ kN}$$

Keuze van profiel

Er is gekozen voor een vierkant buisprofiel. Bij het testen van verschillende profielen is 25 x 25 x 2 mm (H x B x d) het beste bevonden. De staalsoort is S235.

Toetsen

Druk

Voor staven belast op druk geldt de volgende eis:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{N_{Ed}}{A f_y} = \frac{18\,100}{174 * 235} = 0,44$$

Dit is kleiner dan 1, dus het profiel voldoet aan de eis voor druksterkte.

Knik

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{14800}{174}} = 9,2 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{1000}{9,2} = 108$$

$$\lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,d}}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_e} = 1,15$$

Uit de grafiek van de knikkromme (lijn c) is de waarde van de reductiefactor te vinden. Dit is $\chi=0,45$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed}}{\chi A f_y} = \frac{18\,100}{0,45 * 214 * 235} = 0,98$$

Dit is kleiner dan 1, dus het profiel voldoet.

Bijlage 7 Sluitprotocol Gelderse Sluis

Basisgegevens

Naam kunstwerk:	<i>Gelderse Sluis</i>
Beheerder kunstwerk:	<i>Onderhoud rayon Noord</i>
Locatie:	
Dijkpaal:	<i>DP R001</i>
Straat:	<i>Geldersesluis</i>
Plaats:	<i>Noordeinde</i>
X-coördinaat:	<i>187.627,00</i>
Y-coördinaat:	<i>503.591,00</i>
Soort kunstwerk:	<i>Keersluis</i>
Soort sluitmechanisme:	<i>handmatig bediend</i>
Soort sluitmiddel:	<i>Houten puntdeuren, stalen buisschotbalken</i>

Losse sluitmiddelen (schotbalkkering)

opslagplaats:	<i>Loods naast de Gelderse Sluis</i>
aanrij tijd:	<i>geen</i>
bijzonderheden inzake bereikbaarheid:	
soorten en aantallen per soort:	<i>20 stalen buisschotbalken</i>
reserve aantallen per soort:	<i>geen</i>
transportvoorziening:	<i>kar</i>
materieel en gereedschap:	<i>rails, lieren en hijsbanden voor de schotbalkkering</i>

Sluitingsmoment kunstwerk

referentie plaats	<i>Gelderse Sluis</i>
signaleringspeil (50 cm onder sluitpeil):	<i>0,50 m +NAP</i>
sluitpeil (opdracht tot sluiten):	<i>1,00 m +NAP</i>
kering gesloten (drempelhoogte):	<i>3,00 m +NAP</i>

Derden betrokken bij de sluiting

1e naam organisatie/bedrijf:	<i>Geen</i>
contactpersoon en telefoonnummer:	<i>xxx</i>
plaatsvervanger:	<i>xxx</i>
te leveren middelen en/of diensten:	<i>xxx</i>

Overige zaken

controlefrequentie:	<i>2 maal per jaar (tijdens voor- en najaarsschouw van de waterkering)</i>
testfrequentie van kunstwerk en sluitmiddel:	<i>1 maal per jaar (tijdens voorjaarsschouw)</i>
oefenfrequentie van sluitingsprocedure:	<i>1 maal per jaar (tijdens najaarsschouw)</i>
coördinatiefase waarin sluiting plaatsvindt:	<i>fase 0 (verhoogde waakzaamheid)</i>

Waarschuwing en controle

Wanneer

signaleringspeil:	<i>0,40 m.+NAP</i>
coördinatiefase:	<i>fase 0 (preventieve maatregelen)</i>

Wat

monitoren (hoogwater of peilberichten):	<i>berichtgeving RWS en eigen peilregistratie</i>
waarschuwen (opdrachtgever en derden):	<i>onderhoudsteam Noord over verwachte sluiting</i>
controleren (kunstwerk en sluitmiddel):	<i>bereikbaarheid bedieningsmiddelen</i>
schoonmaken sluiskolk, drempel en deuren	

Wie, waarschuwt en controleert

uitvoerder:	<i>hoofd WAT (Waterschaps Aktie Team)</i>
plaatsvervanger:	<i>rayonleider Noord</i>
achtervang:	<i>peilbeheerder rayon Noord</i>

Hoe wordt dit gedaan

signaleren (hoe signaal waarnemen):	<i>aflezen beeldscherm, fax en peilregistratie (TMX)</i>
waarschuwen (manier waarop):	<i>telefoon en e-mail</i>
controleren (manier waarop):	<i>visuele controle</i>

Bijzonderheden

betrokken derden:	<i>geen</i>
maatregelen bij defect kunstwerk:	<i>buisschotbalken</i>
reparatiemogelijkheden van defect:	<i>nieuwe onderdelen</i>
alternatieven voor defecte sluitmiddelen:	<i>bigbags, zandzakken</i>
overige bijzonderheden:	<i>geen</i>

Opdracht geven tot sluiten kunstwerk

Wanneer wordt de opdracht gegeven

sluitpeil:	<i>0,90 m. + NAP (Gelderse Sluis)</i>
coördinatiefase:	<i>fase 1 (Beperkte dijkbewaking)</i>

Wat wordt er uitgevoerd

na de opdracht tot sluiten van:	<i>sluiten puntdeuren</i>
bediener van kunstwerk:	<i>Peilbeheerder noord met rayonleider Noord</i>

Wie (opdracht geeft)

opdrachtgever:	<i>hoofd WAT</i>
plaatsvervanger:	<i>rayonleider Noord</i>
achtervang:	<i>Peilbeheerder rayon Noord</i>

Hoe

manier van opdrachtgeven:	<i>mondeling en e-mail</i>
---------------------------	----------------------------

Bijzonderheden

reactietijd:	<i>1 uur</i>
overige bijzonderheden:	<i>geen</i>

Sluiten van het kunstwerk

Wanneer

moment (na opdracht tot sluiten):	<i>na opdracht van hoofd WAT of plaatsvervanger</i>
coördinatiefase:	<i>fase 1 (Beperkte dijkbewaking)</i>

Wat

sluiten deuren:

vrij maken drempel en deuren, gecontroleerd sluiten van de deuren.

Sluiten schotbalken:

vrij maken sponningen, eventueel verwijderen reling, plaatsen van de rails, plaatsen van de lieren en de hijsbanden, bedienen lieren en transporteren van buizen, spanbanden vastzetten en lieren opbergen.

Wie (sluit kunstwerk)

uitvoerders:

team Noord

plaatsvervangers:

medewerker onderhoud rayon Noord

achtervang:

medewerker onderhoud rayon Noord

Hoe

waarmee sluitmiddelen transporteren:

kar voor de buizen

welke hulpmiddelen gebruiken:

Bijzonderheden

minimum noodzakelijk aantal mensen:

2 medewerkers

wie geeft leiding:

rayonleider Noord

wie controleert of kunstwerk gesloten is:

rayonleider Noord

overige bijzonderheden:

geen

Terugmelding en monitoring**Wanneer**

vanaf welk moment (nadat gesloten is):

na sluiting sluis

vanaf coördinatiefase:

fase 1 (Beperkte dijkbewaking)

in welke frequentie:

tijdens bewakingsronde

Wat

aan opdrachtgever (kunstwerk is gesloten):

hoofd WAT

controle en melden:

Afdichting sluis

Wie (meld en controleert wat)

uitvoerder:

onderhoud Noord

plaatsvervanger:

rayonleider onderhoud Noord

achtervang:

peilbeheerder rayon Noord

Hoe

melden:

telefonisch aan hoofd WAT en bevestiging per e-mail

monitoren:

rapportage hoofd WAT

Bijzonderheden

defecten melden aan:

hoofd WAT (ernstige defecten melden aan WOT)

mogelijke maatregelen bij defecten:

sluiskolk vullen met bigbags

wie beslist over maatregelen bij defecten:

hoofd WAT

wie voert maatregelen bij defecten uit:

rayonleider onderhoud Noord

overige bijzonderheden:

geen

Bijlage 8 Foto's van de test op 15 juli 2013

Figuur 35 tot en met figuur 41 zijn foto's van de eerste test op 15 juli 2013; Hierbij werd één pvc-buis in de sponningen naar beneden gelaten.



Figuur 35



Figuur 36



Figuur 37



Figuur 38



Figuur 39



Figuur 40



Figuur 41