



TO2 – Natte Kunstwerken van de Toekomst (NKvT)

Onderdeel: Technische Levensduur

Harry Schelfhout en Mark Post (Deltares)

19 april 2016

TO2 Natte Kunstwerken van de Toekomst



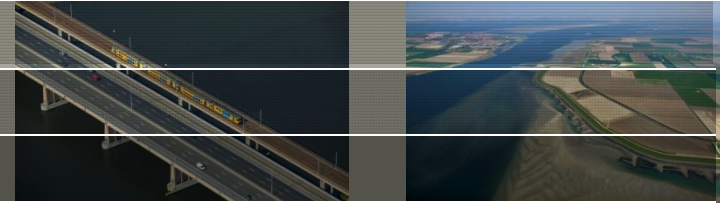
De missie van dit project is het ontwikkelen van kennis die leidt tot prioritering van, kostenbesparing bij en spreiding van investeringen in de vervangingsopgave en levenscycluskosten, zodat een efficiënte vervangingsopgave van het natte kunstwerken areaal mogelijk wordt.

Doelstelling van het projectonderdeel *Technische Levensduur*:

Onderzoeken van mogelijkheden tot optimalisatie door de technische levensduur van de civiele constructiedelen van natte kunstwerken verantwoord te verlengen. [Ref.1]

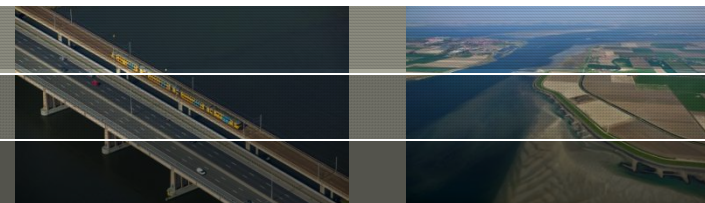
Natte Kunstwerken van de Toekomst is een samenwerking van de drie (TO2) kennisinstellingen TNO, MARIN en Deltares.

Inhoudsopgave



1. Generieke aanpak
2. Case beschrijving
3. Case uitwerking – betonnen sluiscolk
4. Case uitwerking – stalen onderdelen
5. Conclusies, witte vlekken en aanbevelingen

Referenties



1. TO2, Natte kunstwerken van de Toekomst, Eenduidig toetskader – uitgangspunten document, TNO en Deltares, november 2015
2. Gevoeligheidstest natte kunstwerken (VONK), rev. 4d, HKV en IV-infra, 3 juli 2014
3. SBRCURnet-commissie 1958, Restlevensduur van bestaande betonconstructies, pre-advies, juli 2014
4. Corrosie van stalen damwandplanken in de grond, Deltares, maart 2014
5. NEN 8700, december 2011
6. Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK 1.1), RWS, 27 mei 2013
7. Kozijnbrein, TNO, https://www.tno.nl/media/2486/kozijnbrein_infoblad.pdf
8. KMS systeem, Gemeente Werken Rotterdam, <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/Kademuur-Modellering-Systeem.pdf>
9. Leidraad Kunstwerken, TAW, 2003
10. Ontwerpinstrumentarium 2015 (OI-2104v3)



TO2 – NKvT

Technische Levensduur

- Generieke aanpak

19 april 2016

Technische vs functionele levensduur

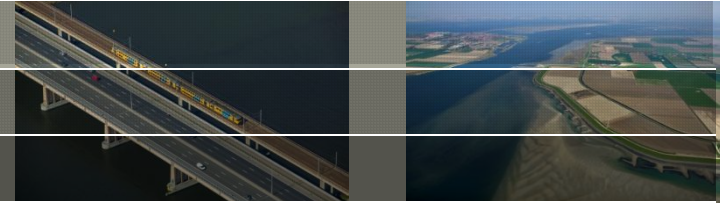


Functionele levensduur: er is sprake van einde functionele levensduur indien een kunstwerk niet meer één of meerdere functies uitvoert conform de functie eisen en dus in functionele zin niet meer voldoet.

Technische levensduur: er is sprake van einde technische levensduur wanneer het niet langer kosteneffectief is een object zodanig in stand te houden dat aan de gestelde prestatie eisen kan worden voldaan.

[ref.2]

Functie vs prestatie eisen

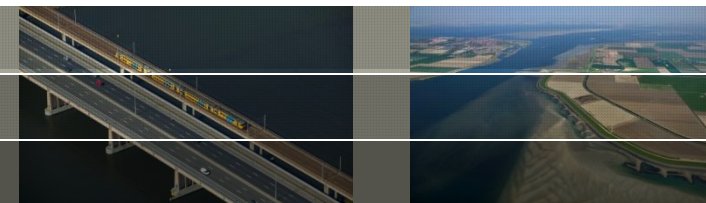


Functie eisen volgen uit de algemene (technische) functies die een kunstwerk moet vervullen

Prestatie eisen beschrijven de betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en/of veiligheid waarmee het kunstwerk de functie eisen moet vervullen

[ref.2]

Funcities van Kunstwerken



Maatschappelijke funcies	Watervligheid bieden		Voldoende zoet wa- ter leveren				Mogelijk maken van een vlotte en veilige scheepvaart		Schoon & gezond water leveren	
	Hoogwater keren	water afvoeren	Water inlaten	Water pompen	Pell scheiden	Zoet-zout scheiden	Scheepvaart doorlaten	Faciliteren scheepvaart	Vis doorlaten	Wegverkeer doorlaten
Typen natte kunstwerken (654) (benaming conform DISK)										
Brug vast (188)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Brug beweegbaar (91)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Stuw (10)	-	X	-	-	X	-	(X)	-	-	-
Schutsluis (kolk) (123)	(X)	(X)	(X)	-	X	(X)	X	-	-	(X)
Spui-/uitwateringssluis (94)	(X)	X		-	X	(X)	-	-	(X)	-
Waterreguleringswerk (32)	(X)	-	X	-	X	-	-	-	-	-
Gemaal (19)	(X)	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Hoogwaterkering (2)	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Stormvloedkering (4)	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Sifon/duiker/hevel (63)	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Onderdoorgang (5)	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
Afmeervoorziening (15)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Kunstwerken t.b.v. natuur (8)	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-

x / x

functie behorend bij type kunstwerk

(x)

de betreffende functie wordt niet door alle afzonderlijke kunstwerken binnen het type vervuld

[ref.2]

Deltares

Wat bepaalt technische (rest)levensduur?

Relevante conclusies uit [ref.2]:

1. Het moment van einde technische levensduur van de civiele constructie is leidend voor het bepalen van einde technische levensduur van het kunstwerk
 - Civiele constructie betreft: sluisolk, sluishoofden en fundering
 - Expert schatting kosten verdeling bij sluis: civiel (50%), staal (14%), WTB (6%), E&I (5%), overig (terrein etc) (25%)
2. Einde technische levensduur wordt in hoge mate bepaald door de prestatie eis (constructieve) veiligheid. Wetgeving bepaalt de drempelwaarde hier.

CONSTATERING: de prestatie eis (constructieve) veiligheid van de civiele constructie (onderdelen) bepaalt (in hoge mate) einde technische levensduur en dus de technische restlevensduur van het kunstwerk.

Hoe bepalen we constructieve veiligheid?

De constructieve veiligheid kan worden bepaald met een deterministische, semi-probabilistische of probabilistische (rekening houdend met onzekerheden) aanpak. In “formule vorm” kan deze aanpak worden uitgedrukt als:

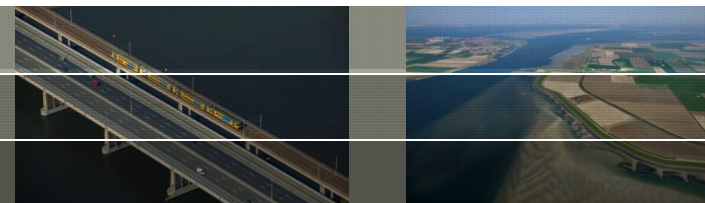
$$\textit{analysemethode} \left(\frac{\textit{belasting}}{\textit{sterkte}} \right) \leq \textit{eis}$$

Hierin is:

- Analysemethode = wijze waarop belasting en sterkte in rekening worden gebracht
- Belasting = (rekenkundige) belasting van beschouwde onderdeel
- Sterkte = (rekenkundige) sterkte van beschouwde onderdeel
- Eis = waarde waaraan de verhouding van belasting en sterkte dient te voldoen

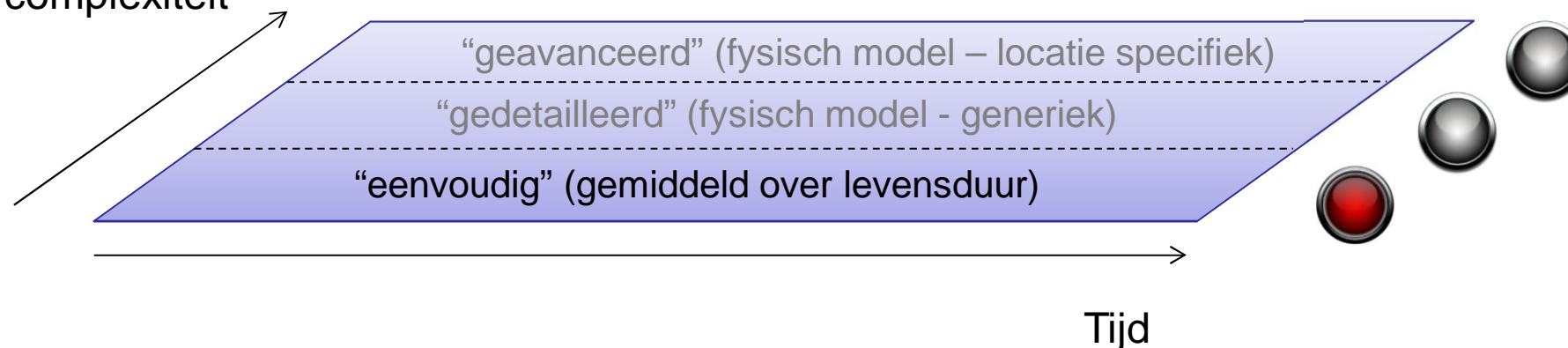
De onderdelen van deze “formule” worden in de volgende slides verder toegelicht.

Analysemethode - algemeen

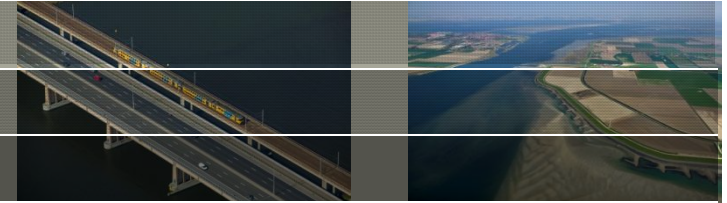


Het is zinvol bij de te hanteren analysemethode voor de constructieve veiligheid (cq restlevensduur bepaling) onderscheid te maken naar diverse niveaus van complexiteit qua schematiseren en/of wijze van afdekken onzekerheden. Hierbij kan de juiste inspanning worden gekozen afhankelijk van de situatie.

Toenemende complexiteit



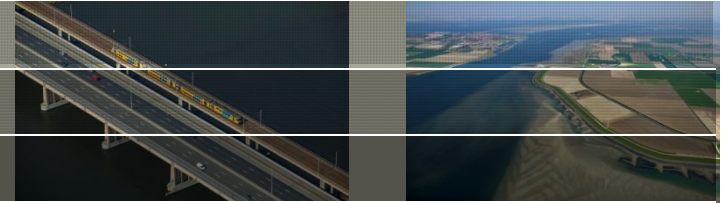
Analysemethode - eenvoudig



- Startpunt is beschikbare informatie van ontwerp en aanleg,
- Aangevuld met:
 - beschikbare informatie van beheer en onderhoud, inspecties en/of monitoring
 - evt. bekende veranderingen in eis, belasting en/of sterkte
- De analyse kan vervolgens gebruik maken van:
 - een beslisregel
 - een ervaringsdatabase
 - gemiddelden over levensduur
 - etc.....

Op dit niveau wordt meer kwalitatief dan kwantitatief te werk gegaan.

Analysemethode - eenvoudig



CONSTATERING: hoe te komen tot een koppeling van een meer kwalitatieve beoordeling met een meer kwantitatieve restlevensduur?

Analysemethode - gedetailleerd

- Startpunt is beschikbare informatie van ontwerp en aanleg,
- Aangevuld met:
 - beschikbare informatie van beheer en onderhoud, inspecties en/of monitoring
 - evt. bekende veranderingen in eis, belasting en/of sterkte
- Analyse is een berekening met een fysisch model, met daarbij:
 - conservatieve en deterministische keuzes voor variabelen, of
 - keuzes voor variabelen rekening houdend met generieke wijze van afdekken onzekerheden (probabilistisch)

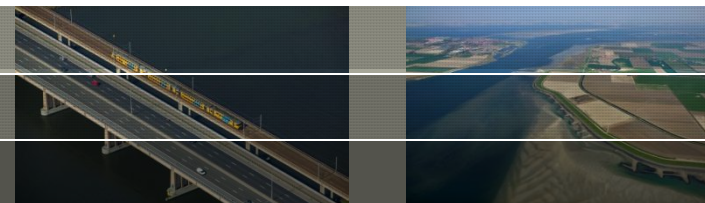
Op dit niveau wordt meer kwantitatief dan kwalitatief te werk gegaan.

Analysemethode - geavanceerd

- Startpunt is beschikbare informatie van ontwerp en aanleg,
- Aangevuld met:
 - beschikbare informatie van beheer en onderhoud, inspecties en/of monitoring
 - evt. bekende veranderingen in eis, belasting en/of sterkte
 - locatie-specifiek onderzoek
- Analyse is een berekening met een fysisch model, met daarbij:
 - conservatieve en deterministische keuzes voor variabelen (rekening houden met resultaten locatie-specifiek onderzoek), of
 - keuzes voor variabelen rekening houdend met locatie-specifieke wijze van afdekken onzekerheden (probabilistisch)

Op dit niveau wordt meer kwantitatief dan kwalitatief te werk gegaan.

Betrouwbaarheidseis



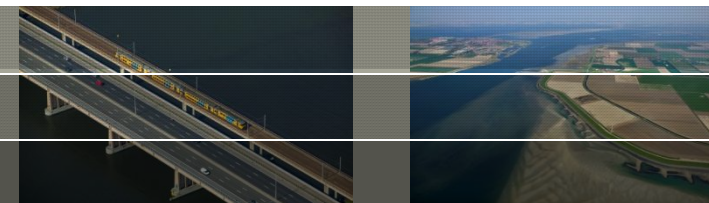
Wetgeving bepaalt de eis waarde voor de constructieve veiligheid.
Onderscheid kan worden gemaakt in de eis voor:

- Nieuwbouw (ontwerp)
- Bestaande bouw (toetsing)

Functie (kerntaken)	Eisen	Mechanismen	Ontwerp	Toetsing
Waterveiligheid bieden	Waterwet, Richtlijn Overstromingsrisico's (EU)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ onvoldoende hoogte ▪ niet sluiten ▪ onder/achterloopsheid ▪ constructief bezwijken ▪ onvoldoende stabiliteit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leidraad Kunstwerken ▪ Ontwerprichtlijn ▪ OI 2014 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ WTI 2006 (vigerend) ▪ WTI 2017 (nieuw)
Constructieve veiligheid	Bouwbesluit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ constructief bezwijken ▪ onvoldoende stabiliteit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NEN 1990 -serie en Eurocode-serie ▪ Richtlijn Ontwerpen Kunstwerken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NEN 8700-serie ▪ Richtlijn Beoordelen Kunstwerken (RBK)

CONSTATERING: voor restlevensduur bepaling van bestaande natte kunstwerken zijn WTI2006, WTI2017, NEN8700 en RBK relevant.

Betrouwbaarheidseis



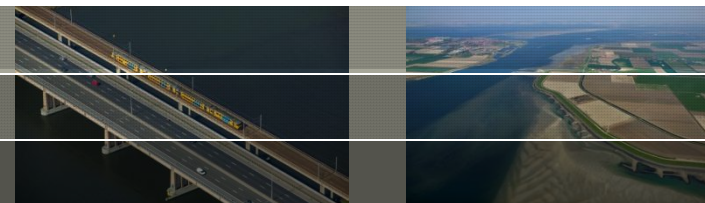
Ter indicatie zijn in onderstaande tabel de vereiste betrouwbaarheidsniveaus (uitgedrukt in β) gegeven conform NEN 8700 (zie linker tabel) voor:

- Nieuwbouw = streefniveau eis (zie ook rechter tabel)
- Verbouw = verlaagde eis bij disproportionele kosten om aan de nieuwbouw eis te voldoen
- Afkeuren = minimale eis (bij overschrijding direct ingrijpen)

gevolg-klasse	Periode t [jaar]	nieuwbouw β_n		verbouw β_v		afkeuren β_a	
		wn	wd	wn	wd	wn	wd
CC1A	1	3,3	2,3	2,8	1,8	1,8	0,8
CC1B	1	3,3	2,3	2,8	2,3*	2,3*	2,3*
CC2	15	3,8	2,8	3,3 (3,1)	2,5*	2,5*	2,5*
CC3	15	4,3	3,3	3,8 (3,6)	3,3*	3,3* (3,1*)	3,3*

Eisen LR Kunstwerken voor constructief falen		
norm [1/jaar]	β_N [1/levensduur]	
	kerend naar binnen	kerend naar buiten
4,00E-03	3,35	2,65
8,00E-04	3,78	3,16
5,00E-04	3,89	3,29
2,50E-04	4,06	3,48
1,00E-04	4,26	3,72

Eisen primaire waterkeringen



Wettelijk Toetsinstrumentarium VTV-2006 [V&W, 2007] en Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003]

Faalmechanisme	Eis (% v.d. norm) ¹⁾
Golfoverslag (HT)	$\leq 100\%$ norm
Sterkte/stabiliteit constructie (STCO/STGC), kerend naar binnen	$\leq 1\%$ norm
Betrouwbaarheid sluiting (BS)	$\leq 10\%$ norm

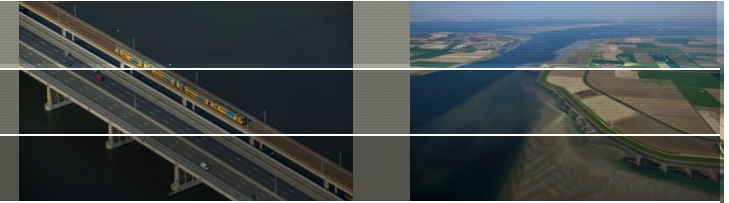
1) norm = 1/250 - 1/1.250 - 1/2.000 - 1/4.000 - 1/10.000 per jaar

Wettelijk Toetsinstrumentarium [WTI-2017]

Faalmechanisme	Eis ²⁾ (% v.d. norm / aantal kunstwerken N)
Golfoverslag (HT)	$\leq 24\%$ norm / N
Onder-/achterloopsheid (STPH)	$\leq 24\%$ norm / N
Sterkte/stabiliteit constructie (STCO/STGC), kerend naar binnen	$\leq 2\%$ norm / N
Betrouwbaarheid sluiting (BS)	$\leq 4\%$ norm / N

2) norm = 1/100 - 1/300 - 1/1.000 - 1/3.000 - 1/10.000 - 1/30.000 - 1/100.000 per jaar

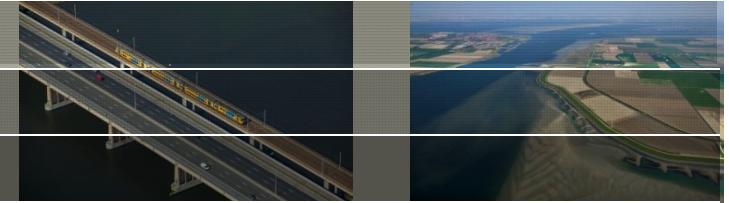
(Toekomstige) Belasting



(Toekomstige) Belastingen voor natte kunstwerken kunnen worden ontleend aan o.a.:

- het Deltamodel: in dit model worden toekomstscenario's per functionaliteit (waterveiligheid, scheepvaart etc.) geschetst;
- (ontwerp en toets) normen;
- hydraulische randvoorwaarden;
- monitoring;
- etc....

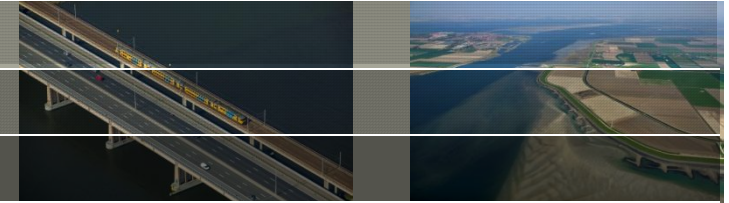
(Toekomstige) sterkte beton



Voor wat betreft de sterkteverandering van betonnen onderdelen van de civiele onderdelen geldt op basis van [ref.3]:

- Met de huidige stand van de kennis is het mogelijk de actuele constructieve veiligheid van bestaande constructies te bepalen, maar is het niet mogelijk een objectieve en voldoende betrouwbare uitspraak te doen over de restlevensduur;
- De behoefte aan een algemeen geaccepteerde methodiek om de restlevensduur te bepalen is in toenemende mate urgent, aan zowel opdrachtgever- als opdrachtnemerskant;
- Lopende initiatieven en programma's om de restlevensduur te bepalen op basis van modellen leveren resultaten op, maar het zal nog een aanzienlijke inspanning vergen voordat het gewenste praktische kennisniveau wordt bereikt.

(Toekomstige) sterkte staal



Voor wat betreft de sterkteverandering van stalen onderdelen van de civiele onderdelen geldt op basis van [ref.4]:

- Meest relevante bedreiging voor de sterkte van stalen onderdelen is corrosie. Recente studies (b.v. [ref.4]) geven concrete aanbevelingen voor corrosie waarden over een levensduur van 50 – 100 jaar alhoewel er nog steeds rekening dient te worden gehouden met een grote spreiding.

CONSTATERING: op het gebied van sterkte(degradatie) voorspellingen voor beton en in mindere mate voor staal bestaat nog een kennis leemte



TO2 – NKvT

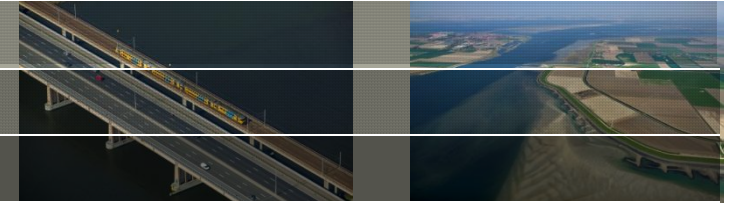
Technische Levensduur

- Case study schutsluis

Harry Schelfhout en Mark Post

19 april 2016

Beschrijving case study



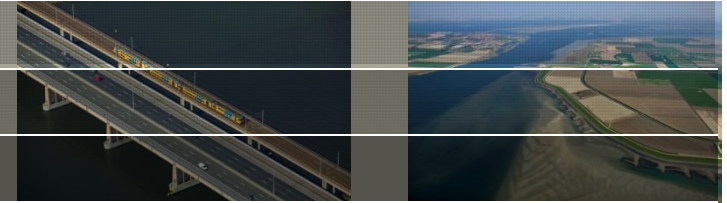
Case study gerelateerd aan een schutsluis. De technische basis is deels gebaseerd op een relevant RINK rapport en deels fictief.

Er volgt een globale uitwerking ter bepaling van de technische (rest)levensduur voor:

- gewapend betonnen kolkwand
- stalen constructie-onderdelen (frontwand zeezijde en onder-/achterloopsheidsschermen)

Binnen de case study wordt duidelijk aangegeven waar aannames worden gedaan en waar de “witte vlekken” in de kennis zitten.

Beschrijving schutsluis



- Bouwjaar: jaren '60 vorige eeuw (schutsluis is nu op $t = 50$ jaar)
- RINK rapport beschikbaar.
- Schutsluis bestaat uit een schutkolk van 25 m breed welke is gefundeerd op staal.
- De sluis is hoogwaterkerend en beschikt over 3 sluishoofden.

- Oorspronkelijk ontwerppeil: NAP +5,65 m
- Huidige veiligheidsnorm: 1/4.000 per jaar
- Huidig toetspeil (WTI 2006): NAP +5,80 m
- Toekomstige veiligheidsnorm: 1/1.000 per jaar
- Aantal kunstwerken (lengte-effect WTI 2017): $N = 5$
- Toekomstig toetspeil (WTI 2017): NAP +6,40 m



TO2 – NKvT

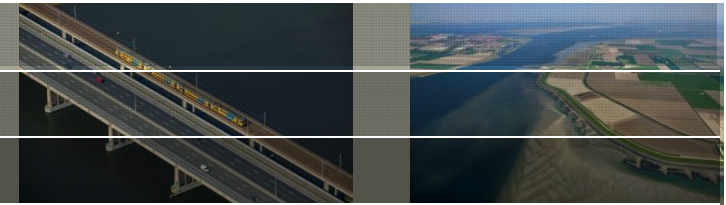
Case study Schutsluis

- Technische levensduur gewapend betonnen sluiswand

Mark Post

19 april 2016

Functie eisen schutsluis



Maatschappelijke functies	Waterviligheid bieden		Voldoende zoet water leveren				Mogelijk maken van een vlotte en veilige scheepvaart	Schoon & gezond water leveren		
	Hoogwater keren	water afvoeren	Water inlaten	Water pompen	Peil scheiden	Zoet-zout scheiden	Scheepvaart doorlaten	Faciliteren scheepvaart	Vis doorlaten	Wegverkeer doorlaten
Typen natte kunstwerken (654) (benaming conform DISK)										
Brug vast (188)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Brug beweegbaar (91)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Stuw (10)	-	X	-	-	X	-	(X)	-	-	-
Schutsluis (kolk) (123)	(X)	(X)	(X)	-	X	(X)	X	-	-	(X)
Spui-/uitwateringssluis (94)	(X)	X		-	X	(X)	-	-	(X)	-
Waterreguleringswerk (32)	(X)	-	X	-	X	-	-	-	-	-
Gemaal (19)	(X)	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Hoogwaterkering (2)	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Stormvloedkering (4)	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Sifon/duiker/hevel (63)	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Onderdoorgang (5)	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
Afmeervoorziening (15)	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Kunstwerken t.b.v. natuur (8)	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-

x: functie horend bij type kunstwerk

(x): de betreffende functie wordt niet door alle afzonderlijke kunstwerken binnen het type vervuld.

x: functie waarop Gevoeligheidstest wordt uitgevoerd

Functie eisen:

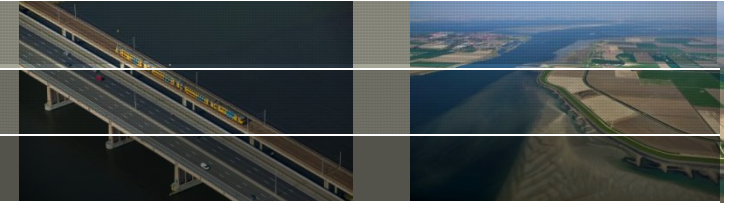
- Hoogwater keren
- Peil scheiden
- Scheepvaart doorlaten

De prestatie eis constructieve veiligheid van de kolkwand heeft direct invloed op de functie eis scheepvaart doorlaten.

Mogelijk ook een invloed op de functie eisen hoogwaterkeren en peil scheiden (vergt nadere analyse).

De prestatie eis constructieve veiligheid van de frontwand en de kwelschermen heeft invloed op de functie eis hoogwaterkering

Kolkwand – huidige sterkte

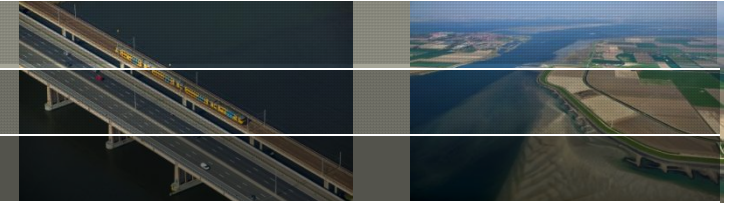


Uit beschikbaar RINK rapport volgt:

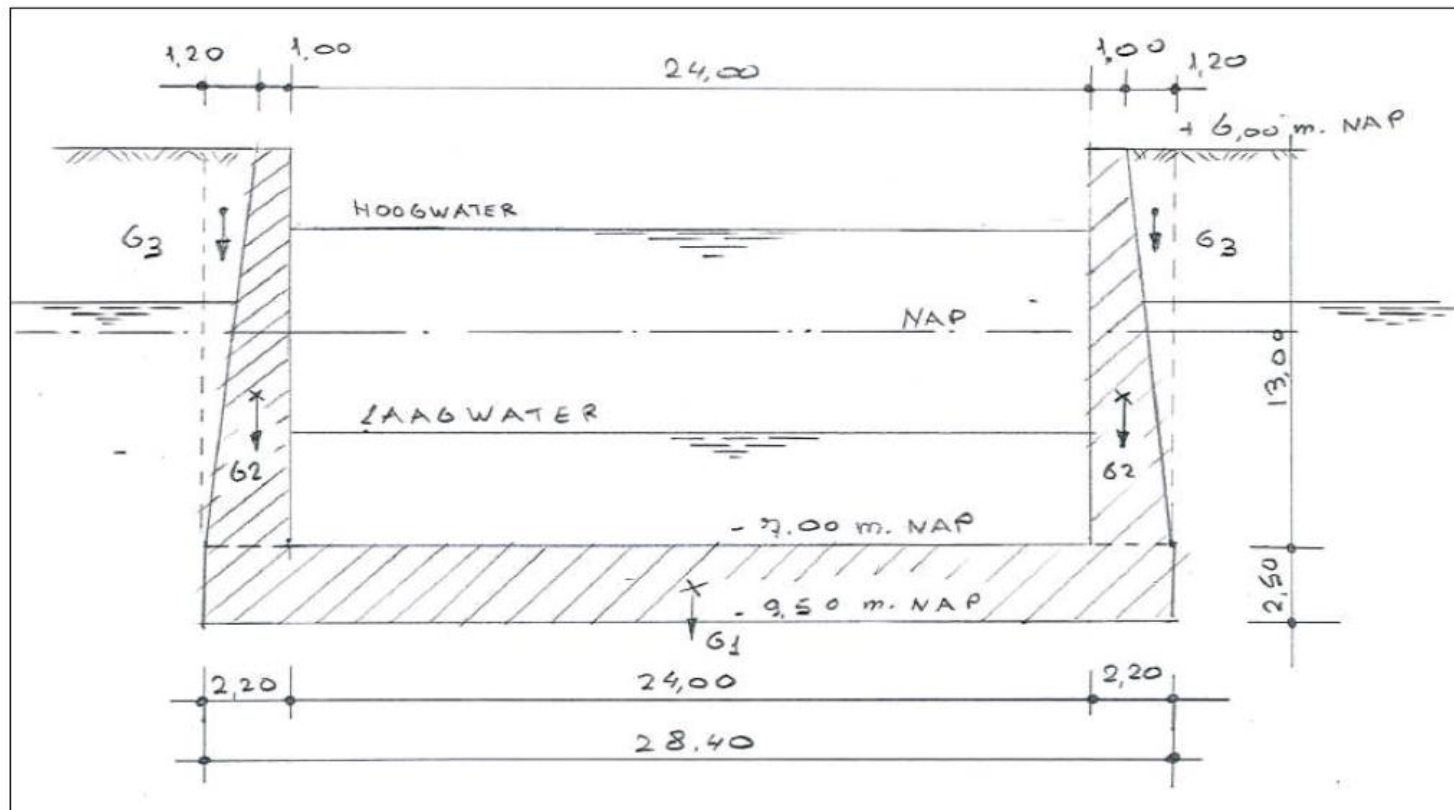
- Inspectie van betonnen sluiswand geeft geen bijzonderheden.
- Oorspronkelijke ontwerpberekeningen slechts deels beschikbaar en daarbij “onleesbaar” voor hergebruik.
- Relevante constructieve toetsen:
 - Opdrijven kolkmoet
 - Momenten en dwarskrachten in de vloer
 - Momenten en dwarskrachten in de wand
 - Analyse fundering

T.b.v. de RINK analyse is een herberekening gemaakt o.b.v. de Leidraad Kunstwerken [ref. 9] welke is gerelateerd aan de nieuwbouw NEN 6700 serie.

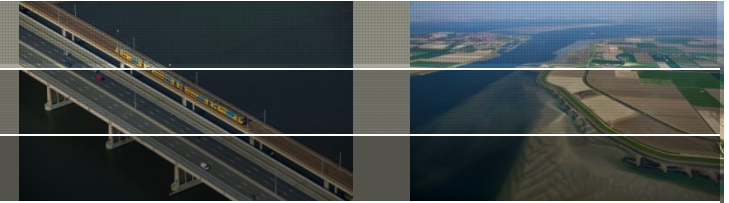
Kolkwand – huidige sterkte



Gehanteerd (fysisch) model voor herberekening



Kolkwand – huidige sterkte



Conclusie herberekening: constructie voldoet (op dit moment) (juist) op alle kritische onderdelen. Gepresenteerd zijn Unity Checks (UC) = Belasting / Sterkte.

Toets	FMECA	u.c. UGT	u.c. BF1
Opdrijven kolkwand	62.13.1	0,75	0,84
Moment in kolkwand	62.14.1	0,61	< 0,61
Dwarskracht in kolkwand	62.14.1	1,00	< 1,00
Moment in kolkvloer	62.13.1	0,78	< 0,78
Dwarskracht in kolkvloer	62.13.1	0,72	0,55

Funderingsdruk kolk	20.10.1	0,46	< 0,46
---------------------	---------	------	--------

CONSTATERING: in de gemaakte herberekening worden (noodzakelijkerwijs) diverse keuzes en aannames gedaan omtrent belastingen en sterkte. Een eenduidig toetskader lijkt hier te ontbreken.

Wat is nu de (rest)levensduur?

Resumé:

- Bouwjaar schutsluis: jaren '60 vorige eeuw, $t = 50$ jr
- Uit RINK rapport volgt: $UC = 1$ op dwarskracht en bekend is dat het toetspeil stijgt van 5,65 m naar 6,40 m NAP (en dus vermoedelijk de ontwerp grondwaterstand ook).
- Conclusie: restlevensduur kunstwerk zeer beperkt?

Anno 2015 functioneert de sluiskolk echter nog steeds goed. Is dit wellicht een “papieren probleem”?

In een *fictief scenario* worden de mogelijkheden beschouwd om de restlevensduur beter in beeld te brengen, d.m.v.:

- Nader beschouwen analyse methode
- Nader beschouwen eis
- Nader beschouwen belastingen
- Nader beschouwen sterkte

Fictief scenario - analyse methode

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

De in de RINK studie gemaakte toets wordt gezien als een “gedetailleerde” deterministische toets.

Mogelijkheden:

- Gedetailleerde toets (meenemen generieke onzekerheden)
- Geavanceerde toets (meenemen locatie specifieke onzekerheden)

Voor dit fictieve scenario wordt aangenomen dat het bestaande toets niveau wordt gehandhaafd.

Fictief scenario – eis (1)

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

De RINK Toets voor de onderdelen is gemaakt o.b.v. Leidraad Kunstwerken (aansluitend op de nieuwbouw norm NEN 6700). Voor de onderdelen van bestaande kunstwerken die geen onderdeel zijn van de primaire waterkering (kolkwand) kan echter een lagere betrouwbaarheid worden geaccepteerd dan voor nieuwbouw. Hoofdargumenten hiervoor zijn (zie ook [ref.5]): kosteneffectiviteit bij evt. aanpassingen, “bewezen sterkte”, verwachte belastingen in restlevensduur en mogelijkheid tot monitoring van functioneren kunstwerk.

Mogelijkheden:

- betrouwbaarheid bepalen conform NEN 8700 [ref.5] c.q. RBK [ref.5]

gevolg-klasse	Periode t [jaar]	nieuwbouw β_n		verbouw β_v		afkeuren β_a	
		wn	wd	wn	wd	wn	wd
CC1A	1	3,3	2,3	2,8	1,8	1,8	0,8
CC1B	1	3,3	2,3	2,8	2,3*	2,3*	2,3*
CC2	15	3,8	2,8	3,3 (3,1)	2,5*	2,5*	2,5*
CC3	15	4,3	3,3	3,8 (3.6)	3.3*	3,3* (3.1*)	3,3*

Fictief scenario – eis (2)

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

De RINK Toets voor de frontwand is gemaakt o.b.v. Leidraad Kunstwerken (aansluitend op de nieuwbouw norm NEN 6700) en het nieuwe Wettelijke Toetsinstrumentarium.

Mogelijkheden:

- betrouwbaarheid bepalen conform:
 - LR Kunstwerken [ref. 9]
 - OI-2014v3 [ref. 10]

Leidraad Kunstwerken [TAW, 2003], kerend naar buiten

Faalmechanisme	Eis (bij norm = 1/4.000 p.j.)
Falen sterkte constructie	$P_{f, \text{constr}} = 1/40.000 \text{ p.j.}$
	$P_{f, \text{constr}, N} = 1/4.000 \text{ levensduur}$
Vereiste betrouwbaarheidsindex	$\beta_N = 3,48$

Ontwerpinstrumentarium [2015], kerend naar buiten

Faalmechanisme	Eis (bij $P_{\text{max}} = 1/1.000 \text{ p.j.}$, $\omega = 0,02$ en $N = 5$)
Falen sterkte constructie	$P_{f, \text{constr}} = 1/250.000 \text{ p.j.}$
	$P_{f, \text{constr}, N} = 1/25.000 \text{ levensduur}$
Vereiste betrouwbaarheidsindex	$\beta_N = 3,35$

Fictief scenario - eis

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

Voor dit fictieve scenario wordt het volgende aangenomen:

- constructieve veiligheid mag worden getoetst aan het verbouw niveau;
- uitgangspunt is een referentie periode van 30 jaar;
- hiermee ontstaat uiteindelijk een lagere UC, door aanpassing van de rekenkundige sterkte en belasting conform de lagere vereiste betrouwbaarheid.

CONSTATERING: Richtlijn Beoordelen Kunstwerken [ref.6] stelt aanvullende eisen aan NEN 8700 maar is momenteel slechts toepasbaar voor bruggen.

Uit de RINK rapportage blijkt dat de meest relevante belastingen op de kolkwand v.w.b. de dwarskracht toets zijn:

- Gronddrukken (ca. 50%)
- Grondwaterdrukken (ca. 50%)

Mogelijkheden:

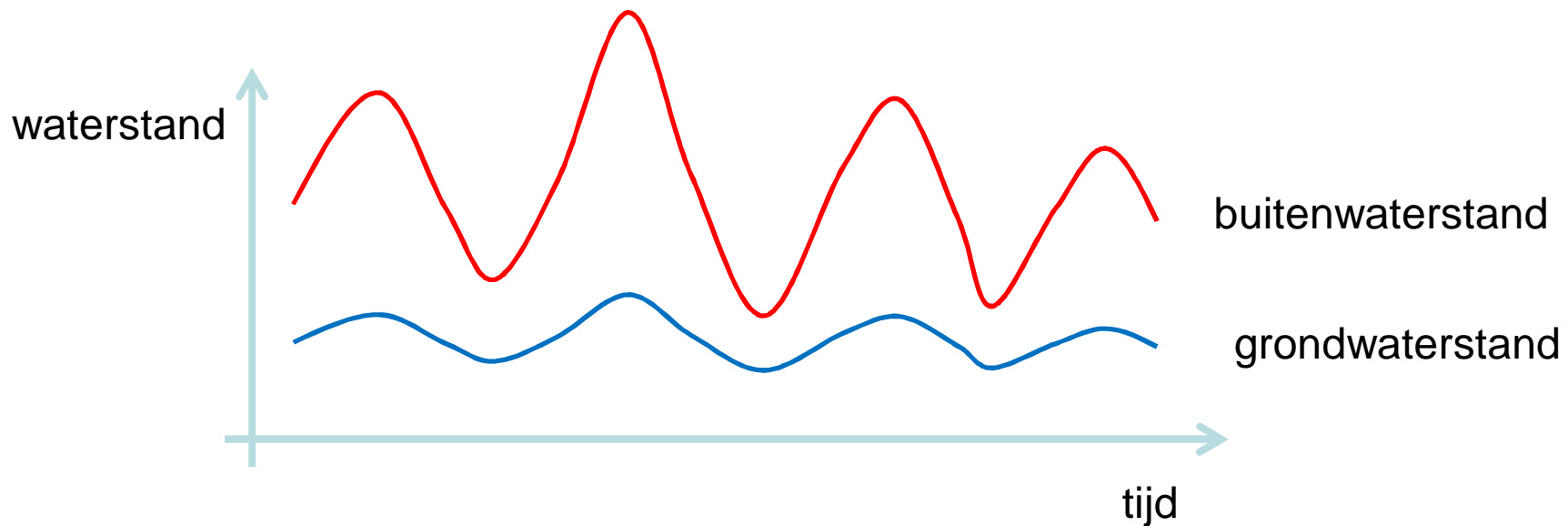
- Monitoring van de grondwaterstand (in combinatie met de buitenwaterstand)

Voor dit fictieve scenario wordt aangenomen dat wordt gestart met actieve monitoring van de grondwaterstand (gws) d.m.v. peilbuizen in combinatie met (bestaande) monitoring van de buitenwaterstand.

Fictief scenario – belastingen

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

Mogelijke conclusie: de grondwaterstand volgt buitenwaterstand maar zeer gedempt, ontwerp gws dient dus niet significant te worden verhoogd gedurende maatgevende hoogwaterstand.



CONSTATERING: grondwater is een significante belasting op de kolkwand en directe monitoring is relatief eenvoudig en levert snel meer inzicht in de (variatie van) de belasting.

Fictief scenario - sterkte

$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

De sterkte van het beton zal naar alle waarschijnlijkheid toenemen door doorgaande hydratatie van cement en afnemen door andere aantastingsprocessen zoals b.v. carbonatatie, chloride indringing, etc.

Mogelijkheden:

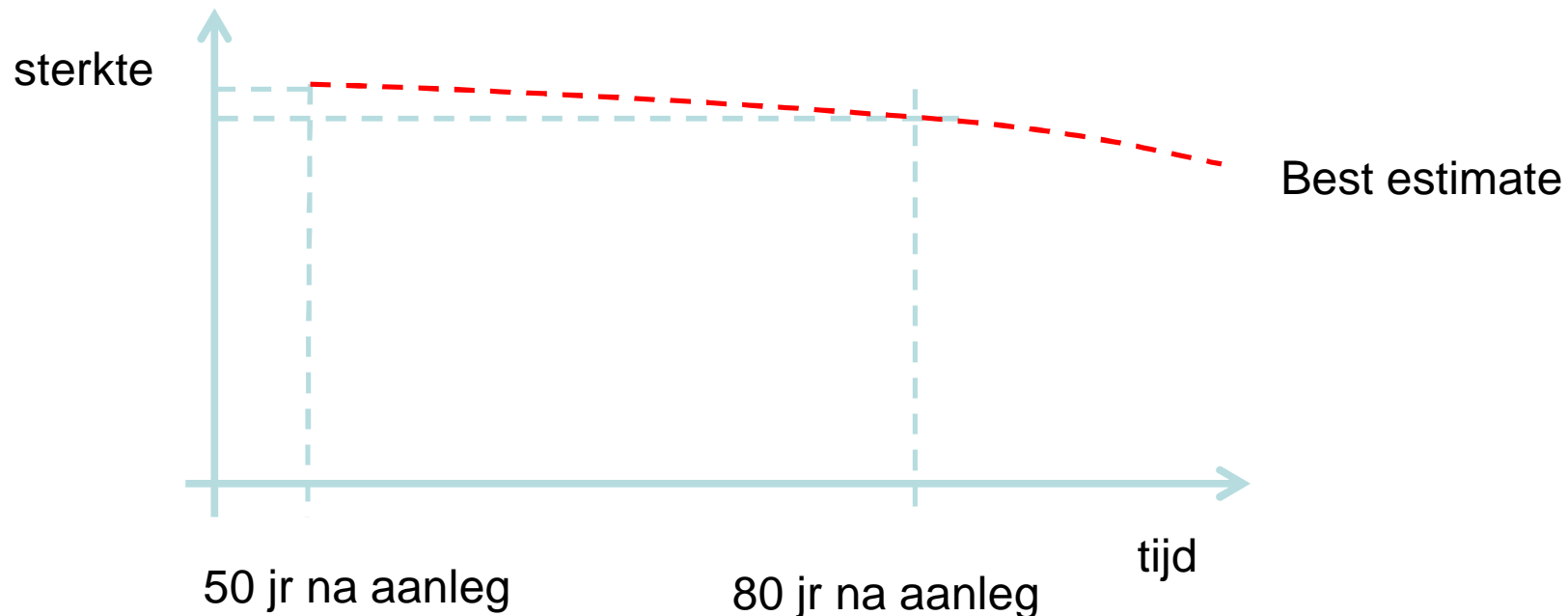
1. Inspecties
2. Monitoring vervormingen kolkwanden
3. Kernen boren en beproeven
4. Rekenkundig voorspellingsmodel (weinig praktische ervaring)
5. Ervarings database (nog niet bestaand)

Voor dit fictieve scenario wordt aangenomen dat een combinatie van 1, 2 en 3 wordt toegepast.

Fictief scenario - sterkte

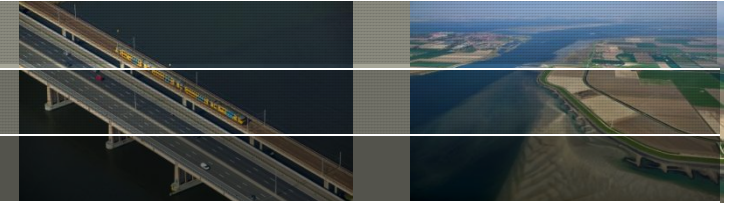
$$\text{analysemethode} \left(\frac{\text{belasting}}{\text{sterkte}} \right) \leq \text{eis}$$

Mogelijke conclusie: op dit moment is slechts een zeer beperkte sterkte achteruitgang geconstateerd. Op basis van deze “bewezen sterkte” wordt voor de komende 30 jaar ook slechts een beperkte verdere sterkte reductie verwacht. Hiervoor wordt een best estimate gemaakt.



CONSTATERING: op het gebied van sterkte degradatie voorspellingen voor beton bestaat nog een kennis leemte, zie ook [ref.3]

Fictief scenario - Resume



- Handhaven analyse methode (“gedetailleerd”)
- Berekende UC lager door lager acceptabel betrouwbaarheidsniveau
- Door monitoring aangetoond dat gws in toekomst niet significant toeneemt bij hoger toetspeil
- Berekende UC hoger door meenemen verwachte sterkte degradatie
- Op basis van voorgaande volgt op $t = 80$ jaar een theoretische $UC = 1$ voor (maatgevende) dwarskracht toets

Restlevensduur van nog minimaal 30 jaar aantoonbaar gemaakt.



TO2 – NKvT

Case study Schutsluis

- Technische levensduur stalen onderdelen
 - Frontwand zeezijde
 - Onder-/achterloopsheidsschermen

Harry Schelfhout
19 april 2016

Frontwand (zeezijde) – huidige sterkte

Uit beschikbaar RINK rapport volgt:

- Inspectie: afname wanddikte stalen damwand.
- Lokale grondwaterstand niet gemeten.
- Relevante constructieve toetsen:
 - Sterkte van de wand
 - Stabiliteit van de wand

T.b.v. de RINK analyse is een herberekening gemaakt o.b.v. de Leidraad Kunstwerken [ref. 9] welke is gerelateerd aan de nieuwbouw NEN 6700 serie.

Eenvoudige toets: Frontwand



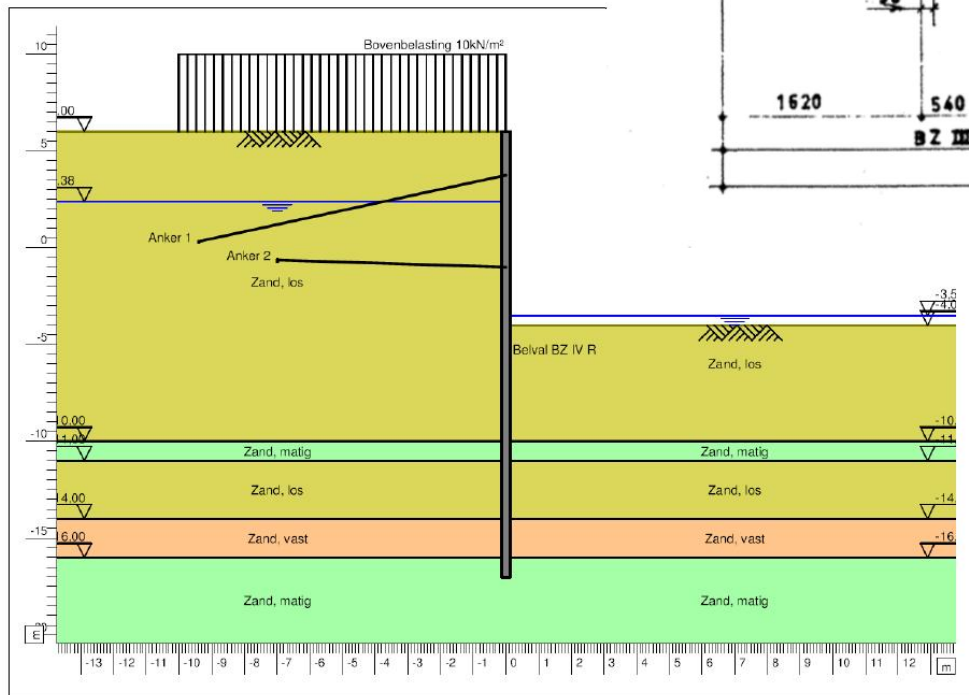
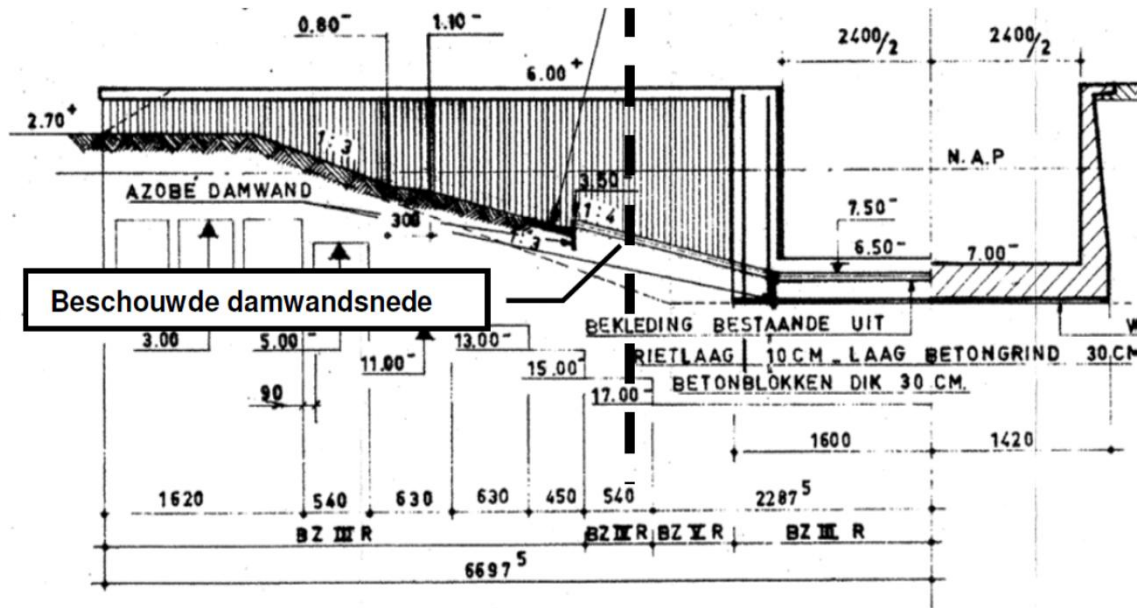
- Inspectie van de frontwand geeft aan dat door corrosie de wanddikte van het staal met maximaal 0,9 mm is afgenomen.

	Wanddikte gemeten [mm]	Wanddikte BZ III R [mm]	Verschil [mm]	Wanddikte BZ IV R [mm]	Verschil [mm]
buik + kas	14,1	15,0	0,9	17,5	3,4
lijf	11,8	12,0	0,2	12,5	0,7

Tabel 2.1. Gemiddelde van gemeten afroesting

- Oorspronkelijke ontwerpberekeningen zijn beschikbaar en bruikbaar voor een doorvertaling naar de sterkte- en belastingparameters.
- Gekozen wordt voor gedetailleerde toets met fysisch model.

Gedetailleerde toets: Huidige sterke frontwand



Gedetailleerde toets: Huidige sterkte frontwand

- De damwand is getoetst volgens veiligheidsklasse III ($\beta = 4,2$ / levensduur) op basis van CUR 166 'Damwandconstructies', 2004

- Berekeningsresultaat:

$$M_{s,d} = 513 \text{ kNm/m'}$$

$$u_{hor} = 31 \text{ mm}$$

$$F_{a,max, anker1} = 32 \text{ kN/m'}$$
, met een ankerafstand van 1,8 m resulteert 58 kN

$$F_{a,max, anker2} = 615 \text{ kN/m'}$$
, met een ankerafstand van 0,9 m resulteert 554 kN

- Toetsing damwand:

Type	Breedte [mm]	Hoogte [mm]	Dikte (buik) [mm]	W [cm ³ /m']	EI [kNm ² /m']	M _{r,d} [kNm/m']
Belval BZ IV R	450	304	17,5	2860	91.287	672

Tabel 4.1 Gegevens damwandtype Belval BZ IV R

$$M_{s,d} = 513 < M_{r,d} = 672 \cdot 0,94 = 632, \text{ dus voldoet} \quad \rightarrow \text{Maximaal moment: UC (UGT) = 0,81}$$

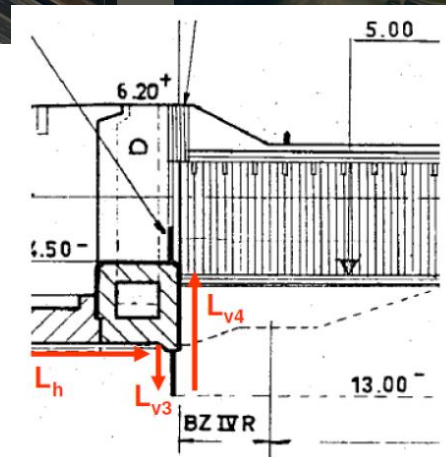
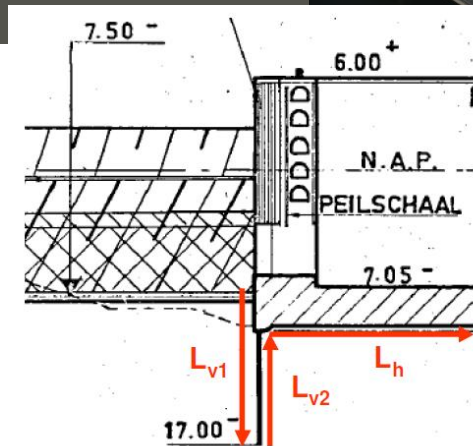
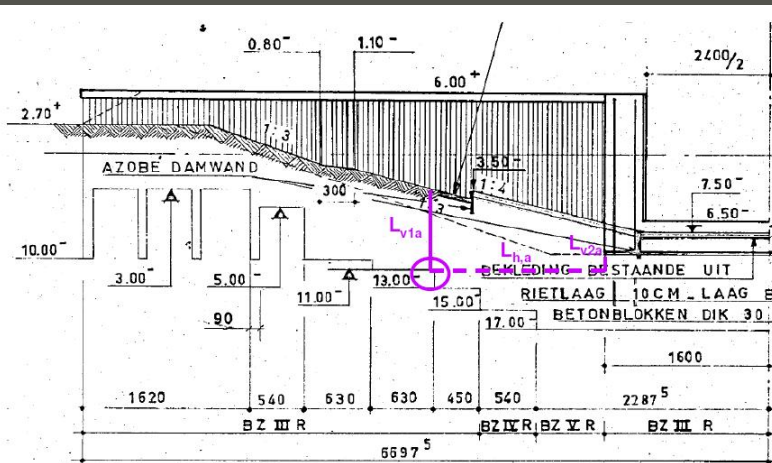
$$u_{hor} = 31 < 50 (1/200 \cdot \text{kerende hoogte}), \text{ dus voldoet} \quad \rightarrow \text{Horizontale vervorming: UC (UGT) = 0,62}$$

- Bevindingen:
 - Invloed corrosie damwand is niet meegenomen
 - Grondwaterstand achter de damwand niet geverifieerd
 - Methodiek en veiligheidseisen CUR 166 wijken af van LR Kunstwerken (TAW, 2003) en Ontwerpinstrumentarium (OI-2014v3)
- **Conclusie: nog geen uitspraak mogelijk over restlevensduur damwand**

Eenvoudige toets: Huidige stabiliteit frontwand

- Oorspronkelijke ontwerpberoeeningen zijn beschikbaar en bruikbaar voor een doorvertaling naar de sterkte- en belastingparameters.
- Grondwaterstand is niet lokaal gemeten
- Gekozen wordt voor eenvoudige toets met fysisch model.
- Resultaten:
 - Vereiste stabiliteitsfactor = 1,30
 - Berekende stabiliteitsfactor = 2,29 of UC (UGT) = 0,57
- **Conclusie: stabiliteit frontwand voldoet waarschijnlijk aan de eis; verificatie is nog wel nodig o.b.v. herberekening met lokaal gemeten grondwaterstand**

Eenvoudige toets: onder-/achterloopsheidschermen



- Resultaten inspectie:
 - de aansluitingen van de schermen zijn goed
 - Wanddikte staal is met 0,9 mm afgenomen
- Kwelweglengten berekend o.b.v. Lane: $\Delta H_{cr} = \{(1/3 \times L_h) + L_v\} / C_{w,creep}$
 met:
 - L_h = horizontale kwelweglengte = 384 m (fundering op staal)
 - L_v = verticale kwelweglengte = 28,3 m
 - $C_{w,creep}$ = creepfactor = 8,5 (o.b.v. zeefanalyses)
- Resultaten:
 - optredend verval 5,58 m < kritiek verval 18,39 m dus voldoet (UC = 0,30)
 - Controle wanddikte: $d = 15,0 - 0,9 = 14,1$ mm (91% van de oorspronkelijke wanddikte)
- **Conclusie: Restlevenslevensduur onder-/achterloopsheidsschermen is nog voldoende**



TO2 – NKvT

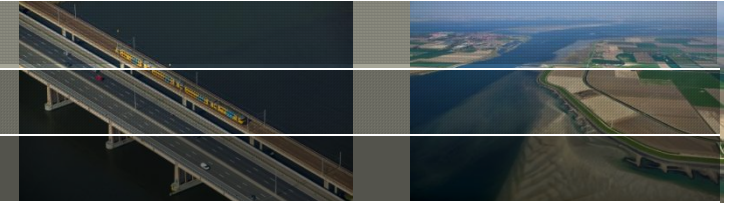
Technische Levensduur

- Conclusies
- Witte vlekken en aanbevelingen

Harry Schelfhout en Mark Post

19 april 2016

Conclusies



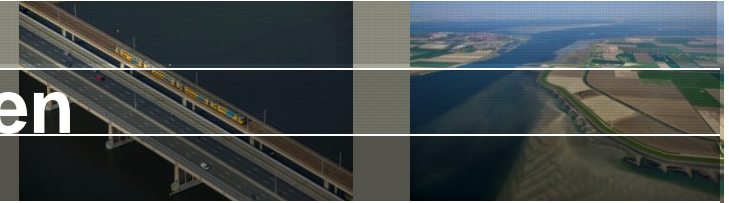
De prestatie eis (constructieve) veiligheid van de Civiele constructie (onderdelen) bepaalt (in hoge mate) einde technische levensduur. Het lijkt dus logisch om in het geval van vervangingsvraagstukken van Natte Kunstwerken te focussen op het “chassis”.

Een significante belasting op de kolkwand en de frontwand (civiele constructies) is het grondwater. Monitoring van het grondwater is relatief eenvoudig en geeft veel inzicht in deze belasting en de bijbehorende onzekerheid.

Hiermee speelt het een belangrijke rol in restlevensduur vraagstukken van Natte Kunstwerken.

Daarnaast zal de overstap naar nieuwe veiligheidsnormen o.b.v. overstromingsrisico en het nieuwe beoordelingskader (WTI - 2017 en OI-2018) in een aantal gevallen tot strengere veiligheidseisen en ongunstiger hydraulische randvoorwaarden leiden.

Witte vlekken en aanbevelingen



Witte vlek: Hoe te komen tot een kwantitatieve beoordeling van constructieve betrouwbaarheid cq restlevensduur o.b.v. een meer kwalitatieve analyse (niveau “eenvoudig”)?

Aanbeveling: *Wat is er aan bestaande “onderzoek en beoordeling van constructies” literatuur beschikbaar en wat kunnen we daar van leren? B.v. Kozijnbrein van TNO [ref.7]*

Witte vlek: Hoe te komen tot (meer) eenduidigheid in te maken keuzes en aannames bij een meer kwantitatieve beoordeling van de constructieve betrouwbaarheid?

Aanbeveling: *Uitbreiden van de RBK [ref.6] met praktische handreikingen om deze ook van toepassing te laten zijn op Natte Kunstwerken.*

Witte vlekken en aanbevelingen



Witte vlek: Hoe te komen tot betere voorspellingen van de toekomstige sterkte van beton en staal?

Aanbeveling: *Wat zijn bestaande (civiele) asset management tools en wat kunnen we daar van leren? B.v. het KMS systeem van GWR [ref.8]*

Witte vlek: Wat is de impact van nieuwe veiligheidseisen o.b.v. overstromingsrisico?

Aanbeveling: *Nadere bepalen van veiligheidseisen voor kunstwerken per dijktraject o.b.v. nieuwe WTI/OI*