Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud

MWW - Inventarisatie Sluiselementen

Eindrapportage

INPA140619-Eindrapport MWW Inventarisatie Sluiselementen 3.0

Iv-Infra b.v.

"*If you think of standardization as the best that you know today, but which is to be improved tomorrow; you get somewhere.*"

Henry Ford
1863-1947. Oprichter van Ford Motor Company

Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
Projectnummer opdrachtgever:	zaaknummer 31097241
Project:	Inventarisatie Sluiselementen
Projectnummer:	INPA140619
Betreft:	Eindrapport
Referentie:	INPA140619-Eindrapport concept

Auteur(s):	Kees-Willem Markus
	Marc Anijs
Gecontroleerd:	Arno Willems
Goedgekeurd:	Arno Willems

Datum:	17-07-2015
Revisie:	3.0
Status:	definitief
Aantal pagina's:	iii + 69

© Iv-Infra b.v., Alle rechten voorbehouden, Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Iv-Infra b.v.

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**5**
1.1	Algemeen	5
1.2	Doel	5
1.3	Aanpak	5
1.4	Leeswijzer	5
2	**Data-analyse**	**6**
2.1	Beschikbare data	6
2.2	Uitkomsten data-analyse	7
2.3	Conclusie	8
3	**Aanpak expertstudie**	**9**
3.1	Aanpak op hoofdlijnen	9
3.2	Toelichting stap 1: Bepalen sluiselementen	10
3.3	Toelichting stap 2: Bepalen sluiselementen met hoogste bijdrage	14
3.4	Toelichting stap 3: Kwantificering sluiselementen	17
4	**Uitkomsten expertstudie**	**22**
4.1	Algemeen	22
4.2	Uitkomsten paarsgewijs vergelijken	22
4.3	Uitkomsten Roger Cooke's Classical Model	31
5	**Conclusies & aanbevelingen**	**38**
5.1	Algemene conclusies	38
5.2	Conclusies data-analyse	38
5.3	Conclusies expertonderzoek	38
5.4	Aanbevelingen	41
BIJLAGE A.	**DATABASE SLUIZEN**	**43**
BIJLAGE B.	**BEPALING SLUISCONFIGURATIES**	**45**
BIJLAGE C.	**UITWERKING BEPALING SLUISKARAKTERISTIEKEN**	**49**
BIJLAGE D.	**UITWERKING BEPALING SLUISELEMENTEN**	**55**
BIJLAGE E.	**LIJST VAN AANWEZIGE EXPERTS**	**59**
BIJLAGE F.	**CONSISTENTIE AHP**	**60**
BIJLAGE G.	**THEORIE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)**	**64**
BIJLAGE H.	**THEORIE ROGER COOKE'S CLASSICAL MODEL**	**66**

Gebruikte afkortingen en definities

- **Bouwkosten:** Bouwkosten in dit onderzoek zijn gedefinieerd als de aanlegkosten van een constructie (bijv. sluis).
- **Bouwtijd:** Bouwtijd in dit onderzoek zijn gedefinieerd als de aanlegkosten van een constructie (bijv. sluis).
- **LCC*:** In dit onderzoek zijn de LCC* de instandhoudingskosten gedurende 100 jaar, exclusief initiële aanleg- en sloopkosten.
- **Betrouwbaarheid:** De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie wordt uitgevoerd onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval.
- **Beschikbaarheid:** De waarschijnlijkheid dat de vereiste functie op een gegeven willekeurig moment kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden. Dit komt overeen met de fractie van de tijd dat de vereiste functie kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden.
- **Vervangingsinterval:** Het tijdsinterval waarbinnen een onderdeel vervangen moet worden gezien zijn technische levensduur.
- **Onderhoudskosten:** Dit betreffen in dit onderzoek de jaarlijks gemiddelde kosten voor onderhoud van het betreffende onderdeel.
- **VONK:** Het project VONK (VervangingsOpgave Natte Kunstwerken) is een project van Rijkswaterstaat met als doel het het ontwikkelen van een uniforme systematiek ter onderbouwing van de programmering van, en de besluitvorming over, de vervanging van de natte kunstwerken voor de periode na 2020.
- **DISK:** Het Data Informatie Systeem Kunstwerken (DISK) is het beheer- en informatiesysteem van Rijkswaterstaat voor de gegevens van kunstwerken (onder andere bruggen, tunnels, aquaducten, ecoducten en viaducten, duikers, sluizen en stuwen) die Rijkswaterstaat beheert.
- **RINK:** Het project RINK (Risico Inventarisatie Natte Kunstwerken) is een project van Rijkswaterstaat met als doel om o.a. een totaalbeeld te geven van het gehele natte kunstwerkareaal en het beoordelen van de prestaties (RAMS) van de kunstwerken.
- **RA-analyse:** Reliability, Availability analyse. Dit is een integrale analyse waarin betrouwbaarheid en beschikbaarheid worden meegenomen.
- **Reparatieduur:** De tijd die nodig is om de functie na falen te herstellen
- **Infraquest:** Dit is een samenwerkingsverband van die Nederlandse organisaties op het gebied van civieltechnische kennis, TNO, TU Delft en RWS. Het samenwerkingsverband vormt een Expertisecentrum op het gebied van Wegen en Constructies.
- **Minimale deelverzameling:** Een combinaties van faalmechanismen die leiden tot falen van de functie van objecten.

Samenvatting

Doel & Aanpak
Voor het project MultiWaterWerk (MWW) is door Rijkswaterstaat gevraagd een inventariserende en analyserende studie uit te voeren naar de bijdrage van sluiselementen aan de doelen die MWW heeft gesteld. Dit betreffen de volgende doelen:
- Doel 1: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd.
- Doel 2: Verlagen Life Cycle Costs.
- Doel 3: Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.

Het onderzoek bestaat uit 2 stappen: data-analyse en expertstudie.

Data-analyse
Voor alle drie de doelen is onderzocht of er data beschikbaar waren en zo ja of deze data geschikt zijn voor dit onderzoek. De uitkomsten van deze analyse zijn:

Doel 1 en doel 2: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd en Verlagen Life Cycle Costs.
Uit onderzoek is gebleken dat deze informatie onvoldoende voorhanden dan wel geschikt is voor dit specifieke doel. Dit vanwege:
- Gegevens over bouwkosten, bouwtijd en/of LCC uit het verleden zijn onvoldoende representatief voor de toekomst.
- De gegevens zijn niet volledig.
- Informatie over ramingen en planningen is concurrentiegevoelige informatie.
- Belangrijke informatie voor LCC zoals storings- en onderhoudsinformatie is onvoldoende bijgehouden en vastgelegd.

Doel 3: Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.
Voor de sluiselementen die bijdragen aan de betrouwbaarheid en beschikbaarheid is vanuit verschillende RWS-projecten informatie voorhanden uit RA-analyses. Op basis van deze analyses is de voorzichtige conclusie te trekken dat de (deel)systemen ‘energievoorziening’ en ‘bediening & besturing’ de belangrijkste bijdragen leveren aan de niet-beschikbaarheid en/of de onbetrouwbaarheid van sluizen.

Aanpak expertstudie
De expertstudie heeft het volgende stappenplan gevolgd:
1. Bepalen lijst van sluiselementen. Op basis van de NEN2767 is een lijst van disciplines opgesteld en een lijst van elementen. De lijst van elementen uit de NEN2767 is op basis van 3 criteria terug gebracht tot een lijst van in totaal 23 elementen. Dit om tot een werkbare hoeveelheid elementen te komen voor het vervolg van de expertstudie.
2. Bepalen sluiselementen met hoogste bijdrage aan MWW-doelen. Hiervoor wordt de methode Analytical Hierarchy Process (AHP) gebruikt. Met behulp van deze methode wordt in 2 stappen aan de experts gevraagd aan te geven welke elementen het meeste bijdragen aan de MWW-doelen. In stap 1 worden de disciplines met elkaar vergeleken en in stap 2 de elementen van de disciplines die volgen uit stap 1.

3. Kwantificeren sluiselementen met hoogste bijdrage aan MWW-doelen. Door middel van Roger Cooke's Classical Model worden de elementen uit stap 2 gekwantificeerd. Om de sluiselementen goed te kunnen kwantificeren wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd 'mentaal denkmodel'. Dit model beschrijft 4 verschillende sluisconfiguraties die bepalend kunnen zijn voor het kwantificeren van de sluiselementen. Bij deze kwantificering zullen de experts, gegeven een sluisconfiguratie, voor de verschillende sluiselementen de onzekerheid schatten rondom de gevraagde variabelen (via 5%-, 50%- en 95%-percentielen).

Uitkomsten en conclusies Expertstudie

- *Conclusies data-analyse*

De data-analyse levert niet of nauwelijks een antwoord op de vraag welke sluiselementen een significante bijdrage leveren aan de MWW-doelen. Op basis van de RA-analyses die zijn uitgevoerd binnen het project RINK is hooguit voorzichtig te concluderen dat de disciplines 'energielevering' en 'bediening en besturing' significant bijdragen aan de gemiddelde niet-beschikbaarheid en/of onbetrouwbaarheid van sluizen.

- *Conclusies expertonderzoek*

Paarsgewijs vergelijken

Het doel van het paarsgewijs vergelijken was het achterhalen welke sluiselementen de grootste bijdragen leveren aan de MWW-doelen. Deze elementen staan in onderstaande tabel per doel opgesomd.

Bouwkosten	Bouwtijd	LCC	Betrouwbaarheid en beschikbaarheid
Fundering	Fundering	Hefdeur	Energielevering
Sluishoofd	Sluishoofd	Puntdeur	Aandrijving- en bewegingswerk deuren, elektro hydraulisch
Sluiskolkwand	Sluiskolkvloer	Roldeur	Aandrijving- en bewegingswerk deuren, elektromechanisch
Omloopriolen			

Conclusie Roger Cooke

Doel 1: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd.

In onderstaande tabellen zijn de sluiselementen weergegeven in volgorde van de grootte van de bijdrage aan de onzekerheid van de bouwkosten en -tijd. Hierbij is gekeken naar de omvang van het 0%-95% interval. Naarmate dit interval groter is, is de onzekerheid van deze kosten ook groter. In beide gevallen was de spreiding van de fundering het grootst. De overige elementen zijn vergeleken ten opzichte van de fundering.

Tabel S-1: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan onzekerheid bouwkosten.

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Fundering	1,00	1,00	1,00	1,00
Sluiskolkwand	0,57	0,61	0,52	0,55
Sluishoofd	0,42	0,43	0,24	0,28
Omloopriolen	0,37	0,39	0,21	0,22

Tabel S-2: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan onzekerheid bouwtijd.

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Fundering	1,00	1,00	1,00	1,00
Sluishoofd	0,84	0,86	0,85	0,91
Sluiskolkvloer	0,76	0,75	0,78	0,78

Doel 2 en 3: Verlagen Life Cycle Costs en vergroten betrouwbaarheid en beschikbaarheid

In onderstaande tabellen zijn de sluiselementen weergegeven in volgorde van de grootte van de bijdrage aan het verlagen van de LCC, verdeeld naar vervangingsinterval en reparatieduur, respectievelijk het verhogen van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid. In onderstaande tabellen is een vergelijking gemaakt tussen de geschatte medianen. Het element met de hoogste mediaan is op 1 gezet en de overige elementen zijn hiermee vergeleken.

Tabel S-3: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan verlagen LCC (vervangingsinterval).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Hefdeur	1,00	1,00	1,00	1,00
Roldeur	0,99	0,98	0,98	0,98
Puntdeur	0,83	0,82	0,82	0,82

Tabel S-4: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan verlagen LCC (onderhoudskosten).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Roldeur	1,00	1,00	1,00	1,00
Puntdeur	0,79	0,78	0,75	0,75
Hefdeur	0,71	0,70	0,66	0,66

Tabel S-5: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid (reparatieduur).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
A&B elektromech.	1,00	1,00	1,00	1,00
A&B elektro hydr.	0,70	0,70	0,70	0,71
Energielevering	0,23	0,24	0,26	0,22

Algemene conclusies

- Het blijkt dat het voor veel experts zeer lastig is de waarden van, en met name de onzekerheid rondom, aspecten als bouwkosten, bouwtijd, LCC en R&A te schatten.
- Met geavanceerde(re) expertmeningen-methoden als AHP en Roger Cooke's Classical Model is het niettemin mogelijk betrouwbare schattingen voor deze aspecten uit expertschattingen af te leiden.

Aanbevelingen

Om te kunnen sturen op het verhogen van de voorspelbaarheid van bouwkosten en bouwtijd, het verlagen van LCC en het vergroten van betrouwbaarheid en beschikbaarheid, wordt aanbevolen op bredere schaal, meer gestructureerd en doelgerichter informatie over deze aspecten te verzamelen en vast te leggen. Hiertoe zal een organisatiebreed monitoringsprogramma moeten worden opgezet en geïmplementeerd, waarbij RWS de benodigde RAM-data zowel in eigen beheer als door de opdrachtnemers inwint, centraal opslaat en analyseert, eventueel door gebruik te maken van recente Big Data-technieken.

Tot slot wordt aanbevolen samenwerking te zoeken met andere infrabeheerders, in het bijzonder ProRail, op het gebied van inwinnen, beheren en analyseren van RAM-data. De infrastructuur is immers sterk vergelijkbaar en in de statistische wereld van RAMS geldt "hoe meer gegevens, hoe beter". Bovendien kan het tot efficiëntievoordelen leiden wanneer de handen ineen worden geslagen.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Dit document behoort tot het project Inventarisatie sluiselementen (Zaaknummer: 31097241). Dit project heeft als doel het verkrijgen van inzicht in de bijdragen van de diverse sluiselementen in de optimalisatie van de vervangingsopgave van 53 schutsluizen in de komende jaren.

1.2 Doel

Voor het project MultiWaterWerk is door Rijkswaterstaat gevraagd een inventariserende en analyserende studie uit te voeren naar de bijdrage van sluiselementen aan de doelen die MultiWaterWerk heeft gesteld. Dit betreffen de volgende doelen:

4. Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd.
5. Verlagen Life Cycle Costs.
6. Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.

De voorliggende rapportage beschrijft deze bureaustudie die is uitgebreid met een expertonderzoek.

1.3 Aanpak

De aanpak van dit onderzoek bestaat uit 2 stappen:

1. Data-analyse: data-analyse van beschikbare informatie, waarmee bepaald kan worden wat de bijdrage is van sluiselementen aan de 3 MWW-doelen.
2. Expertstudie: Omdat wij uit ervaring met andere projecten weten dat veel informatie niet voorhanden is of niet geschikt is voor dit onderzoek, voeren wij ook een expertstudie uit. Hierin wordt experts gevraagd welke elementen de meeste bijdragen leveren aan de 3 MWW-doelen. Daarnaast worden deze bijdragen ook gekwantificeerd.
   Voor deze expertstudie wordt gebruik gemaakt van 2 methoden, namelijk het Analytical Hierarchy Process (AHP) en het Classical Model. Beide methoden worden toegepast tijdens een expertsessie waarbij experts aanwezig zijn van Rijkswaterstaat, (onderhouds)aannemers en ingenieursbureaus.

1.4 Leeswijzer

De data-analyse wordt in hoofdstuk 2 besproken. In hoofdstuk 3 staat de aanpak van de expertstudie beschreven, in hoofdstuk 4 worden de uitkomsten van de expertstudie gepresenteerd. In hoofdstuk 5 tenslotte staan de conclusies en aanbevelingen.

2 Data-analyse

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de beschikbare informatie om te bepalen welke sluiselementen in welke mate bijdragen aan de doelen die MultiWaterWerk heeft gesteld.

2.1 Beschikbare data

1. Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd.

Voor dit doel is gezocht naar kostenramingen en bouwplanningen die zijn opgesteld in de voorbereiding van projecten i.r.t. de daadwerkelijk gerealiseerde kosten en bouwtijd. Dit om te kunnen bepalen waar de grootste onzekerheden liggen. Uit onderzoek is gebleken dat deze informatie onvoldoende voorhanden dan wel geschikt is voor dit specifieke doel. Dit heeft meerdere redenen namelijk:

- Data uit het verleden zijn onvoldoende representatief voor de toekomst; extrapolatie naar de toekomst is lastig met het oog op nieuwe ontwikkelingen in o.a. materialen, (ICT-) technieken en bouwmethoden. Wat is de representativiteit van bijvoorbeeld de kosten en doorlooptijd van het aanbrengen van de bewegingswerken van een sluisdeur in 1983 voor de vervanging hiervan in 2035?
- Data zijn niet volledig: veel verzamelde data over ramingen en planningen bevatten geen informatie over onzekerheden rond bouwkosten en bouwtijd. Bovendien bleek gestructureerde informatie over kosten en doorlooptijd (op elementniveau) van reeds gerealiseerde projecten niet beschikbaar of toegankelijk te zijn.
- Informatie over ramingen en planningen is concurrentiegevoelige informatie. Dit leidt ertoe dat deze gegevens vaak niet gedeeld worden met andere partijen.

Kortom, voor dit MWW-doel is geen geschikte informatie beschikbaar om een antwoord te kunnen geven op de vraag welke sluiselementen kunnen bijdragen aan het verkleinen van de onzekerheid rond bouwkosten en bouwtijd. Enige uitzondering hierop is wellicht het document ‘Nota Mobiliteit Binnenvaart Bijlage kostennota, raming knelpunten’. Op dit document wordt in §2.2 nader ingegaan.

2. Verlagen Life Cycle Costs (LCC)

Voor het verlagen van de LCC is naar representatieve data gezocht over levensduren van elementen, storingen, onderhoudskosten en vervangingsintervallen. Ook hierbij bleek de hoeveelheid representatieve informatie onvoldoende. De redenen hiervoor zijn vergelijkbaar met de redenen bij informatie over bouwkosten en bouwtijd. De data zijn onvoldoende representatief, zijn concurrentiegevoelig en/of niet volledig doordat het is verzameld met een ander doel. Daarnaast weten we uit projecten zoals het project Risicoinventarisatie Natte Kunstwerken (RINK) dat veel storings- en onderhoudsinformatie onvoldoende is bijgehouden en vastgelegd.

Kortom, voor dit MWW-doel is onvoldoende geschikte informatie beschikbaar om een antwoord te kunnen geven op de vraag welke sluiselementen in welke mate kunnen bijdragen aan het verlagen van de Life Cycle Costs.

3. Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.
Voor de sluiselementen die bijdragen aan de betrouwbaarheid en beschikbaarheid is vanuit het RINK-project en InfraQuest veel informatie beschikbaar. Dit betreft informatie van de RA-analyses die zijn uitgevoerd voor deze projecten. De uitkomsten van deze analyses zullen nader worden beschouwd in §2.2.

Kortom, voor dit MWW-doel is voldoende informatie beschikbaar om *in potentie* een antwoord te kunnen geven op de vraag welke sluiselementen het meeste kunnen bijdragen aan het vergroten van de beschikbaarheid en betrouwbaarheid.

Overige beschikbare informatie:
Vanuit het project RINK en het project VONK is veel informatie verzameld over sluiskenmerken. Dit is gedaan voor een groot deel van de sluizen in Nederland, dus ook voor de 53 sluizen die in het MWW-project vallen. Deze informatie zal later in het onderzoek worden gebruikt om te komen tot representatieve sluisconfiguraties, zie §3.4.

2.2 Uitkomsten data-analyse

Nota Mobiliteit Binnenvaart Bijlage kostennota, raming knelpunten:
Dit document beschrijft de ramingen van verschillende projecten die vanuit de visie van de nota Mobiliteit Binnenvaart uitgevoerd zouden moeten worden. Het documenten bevat uitgebreide deterministische en probabilistische kostenramingen. Op basis van het document kan echter geen antwoord gegeven worden op de vraag welke sluiselementen bijdragen aan het verlagen van de onzekerheid rond bouwkosten. Dit omdat het alleen ramingen betreffen en er geen gegevens zijn over de realisatiekosten, voor zover alle projecten al gerealiseerd zijn. Daarnaast geeft de probabilistische raming wel een spreiding weer maar deze is niet weergegeven op elementniveau maar op sluisniveau en geeft dus geen informatie over de onzekerheid in bouwkosten van de individuele sluiselementen.

RINK & InfraQuest:
Binnen het project InfraQuest is op basis van de uitkomsten van de verschillende RA-analyses die zijn uitgevoerd voor het project RINK gekeken of deze resultaten geëxtrapoleerd konden worden naar vergelijkbare sluizen die niet waren geanalyseerd. De conclusie die uit dit onderzoek kwam is:

"*Geconcludeerd kan worden dat het niet haalbaar is om op basis van gemakkelijk beschikbare kenmerken van objecten waarvan de RA-prestaties niet bekend zijn, deze prestaties toch betrouwbaar te kunnen voorspellen. Hiervoor zijn de sluizen te divers en uniek (in ontwerp, uitvoering en onderhoud). De prestaties worden met name bepaald door specifieke kenmerken van onderdelen die niet zonder uitvoerige inspecties en/of analyse te bepalen zijn*."[1]

[1] Bron: InfraQuest, *Modellering prestatie sluizen, fase 2A/B, Natte kunstwerken InfraQuest-2012-62,* Delft, September 2013

Ondanks deze conclusie hebben wij gekeken of op basis van de RA-analyses iets gezegd kan worden over sluiselementen die bijdragen aan verminderde beschikbaarheid en/of betrouwbaarheid van de hoofdfuncties ((hoog)waterkeren, laten passeren scheepvaart, peilscheiding en/of spuien/inlaten). Dit is gedaan door een analyse uit te voeren op de combinaties van faalmechanismen die leiden tot falen van de sluizen, de zogeheten 'minimale deelverzamelingen'. Op basis van deze minimale deelverzamelingen kan het volgende worden geconcludeerd:

- De elementen die bijdragen aan de niet-beschikbaarheid en de onbetrouwbaarheid van één of meer functies zijn heel divers en er zijn geen elementen die daarin specifiek naar voren komen. Kortom, op sluiselementniveau is niet aan te wijzen welke elementen significant meer bijdragen aan het verbeteren van de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid.
- Als echter gekeken wordt op een hoger niveau, dus wanneer we de elementen clusteren dan is er wel een duidelijke lijn te zien. Het falen van de energielevering is iets dat relatief vaak voorkomt. Daarnaast komen verschillende elementen voor die zijn gerelateerd aan de bediening en besturing van een sluis.

2.3 Conclusie

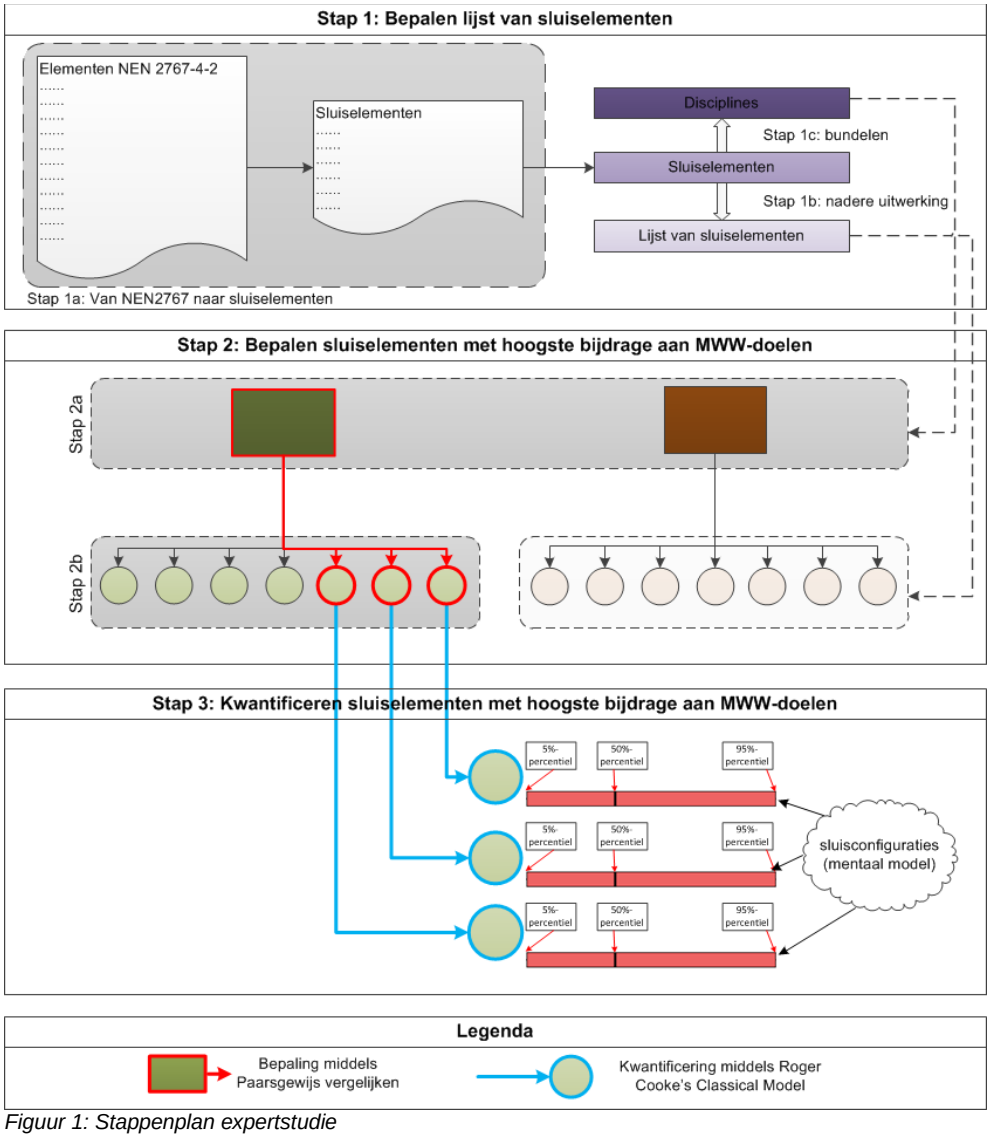
Op basis van de RA-analyses van het project RINK is de voorzichtige conclusie te trekken dat de (deel)systemen 'energievoorziening' en 'bediening & besturing' de belangrijkste bijdragen leveren aan de niet-beschikbaarheid en/of de onbetrouwbaarheid van sluizen. De data-analyse levert echter niet of nauwelijks een antwoord op de vraag welke sluiselementen een significante bijdrage leveren aan de MWW-doelen. Omdat we ervan overtuigd zijn dat veel van de benodigde gegevens wel bekend zijn binnen Rijkswaterstaat en marktpartijen is ervoor gekozen een expertstudie uit te voeren. De aanpak en uitkomsten van deze studie worden in de volgende hoofdstukken beschreven.

3 Aanpak expertstudie

Zoals beschreven in het vorige hoofdstuk zijn onvoldoende geschikte data beschikbaar om een antwoord te kunnen geven op de vraag welke elementen in welke mate bijdragen aan de MWW-doelen. Om deze reden is ervoor gekozen een aanvullende expertstudie uit te voeren. Hierbij vragen we tijdens een expertsessie via geavanceerde methoden aan de experts om voor de verschillende MWW-doelen aan te geven welke sluiselementen hieraan het meeste bijdragen. Daarnaast wordt ook gevraagd deze bijdragen te kwantificeren.

3.1 Aanpak op hoofdlijnen

Het stappenplan van de expertstudie staat in Figuur 1 weergeven.

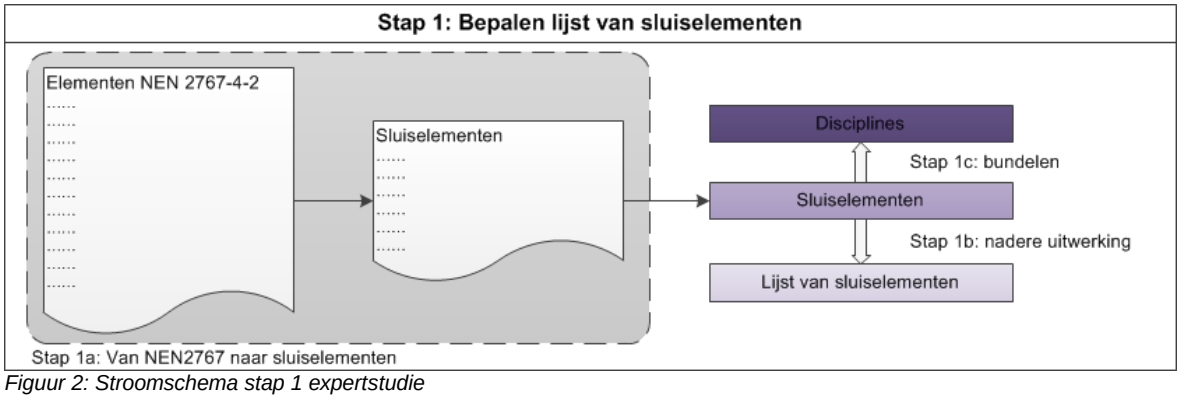


Figuur 1: Stappenplan expertstudie

Zoals in bovenstaande figuur is te zien, bestaat de expertstudie uit 3 stappen namelijk:

1. Bepalen lijst van sluiselementen: in deze stap wordt een lijst van sluiselementen opgesteld als input voor stap 2. Deze stap wordt verder toegelicht in §3.2.
2. Bepalen sluiselementen met hoogste bijdrage aan MWW-doelen: door middel van paarsgewijs vergelijken worden deze elementen gekozen. Hiervoor wordt de methode Analytical Hierarchy Process (AHP) gebruikt. Deze stap wordt verder toegelicht in §3.3.
3. Kwantificeren sluiselementen met hoogste bijdrage aan MWW-doelen: door middel van Roger Cooke's Classical Model worden de elementen uit stap 2 gekwantificeerd. Deze stap wordt verder toegelicht in §3.4.

3.2 Toelichting stap 1: Bepalen sluiselementen



Figuur 2: Stroomschema stap 1 expertstudie

3.2.1 Doel

Het doel van de bepaling van de (technische) sluiselementen is het, op basis van de NEN2767, verkrijgen van een representatieve set met sluiselementen die invloed hebben op de drie MWW projectdoelen. Deze elementen kunnen dan door middel van paarsgewijs vergelijken worden gerangschikt naar rato van hun bijdrage aan een MWW-doel.

3.2.2 Input

NEN2767-4-2: In de uitvraag van de opdrachtgever is aangegeven dat de bureaustudie zich moet richten op de in de sluis aanwezige elementen. Om tot een beschouwing van de juiste elementen te komen is de decompositie van schutsluizen uit de NEN 2767-4-2 gehanteerd. Deze decompositie is in Nederland algemeen aanvaard als standaard en wordt als volledig beschouwd. De NEN 2767-4-2 bevat een uniforme decompositie van beheerobjecten die is opgebouwd uit elementen, bouwdelen en materiaalsoorten. Eén van de opgenomen beheerobjecten betreft schutsluizen.

3.2.3 Uitwerking

De decompositie uit de NEN 2767-4-2 is te uitgebreid om een effectieve expertsessie te kunnen houden. Om deze reden worden onderstaande (sub)stappen binnen stap 1 doorlopen.

Stap 1: Bepalen lijst van sluiselementen:

a. Decompositie van de technische elementen op basis van NEN 2767-4-2.
b. Nader detailleren van sluiselementen.
c. Bundelen van sluiselementen in disciplines.

In Figuur 2 zijn deze stappen schematisch weergegeven.

Stap 1a: Decompositie van relevante technische elementen op basis van NEN 2767-4-2
De decompositie van de technische elementen van sluizen gebeurt op basis van de NEN 2767. De NEN 2767 bevat een uniforme decompositie van beheerobjecten. Deze decompositie is opgebouwd uit elementen, bouwdelen en materiaalsoorten. Indien gekeken wordt op het niveau van elementen (hoogste niveau) omvat de database in totaal 141 mogelijke elementen. Om deze database hanteerbaar te maken voor toepassing binnen dit project, zijn de elementen uit NEN2767 gefilterd tot een lijst van relevante onderdelen aan de hand van de volgende 3 criteria:

1. Is het benoemde element noodzakelijk voor het vervullen van de hoofdfuncties van een sluis ((hoog)waterkeren, laten passeren scheepvaart, peilscheiding handhaven en/of spuien/inlaten)?
   Deze elementen worden meegenomen en blijven behouden in de lijst.
2. Is binnen de vigerende wetten, normen en richtlijnen onvoldoende vrijheid om invloed op het element uit te oefenen in het ontwerp?
   Omdat deze elementen vastliggen en zodanig gestandaardiseerd zijn, dat er geen of beperkte keuzes in gemaakt kunnen worden, worden deze elementen buiten beschouwing gelaten.
3. Is het element relevant voor de projectdoelen?
   Sluiselementen die niet relevant zijn voor de 3 MWW projectdoelen, worden voor dit project buiten beschouwing gelaten.

In de tabel in Bijlage D is deze afweging opgenomen.
De 23 sluiselementen die voldoen aan de 3 genoemde criteria (stap 1a) zijn weergegeven in onderstaande tabel:

Tabel 3-1: Sluiselementen conform NEN2767

Sluiselementen conform NEN2767
Aandrijving- en bewegingswerk, elektrohydraulisch
Aandrijving- en bewegingswerk, elektromechanisch
Aandrijving- en bewegingswerk; mechanisch
Bedienings- en besturingssysteem
Bodembescherming
Closed Circuit TeleVision installatie (CCTV installatie)
Fundering (op staal, palen, etc.)
Grendelinrichting

Sluiselementen conform NEN2767
Heftoren
Hoofddraaipunt
Hoogspanningsinstallatie
Laagspanningsinstallatie
Noodstroominstallatie, roterend
Noodstroominstallatie, statisch
Oeverbescherming
Oplegging
Pompinstallatie
Remming- en/of geleidewerk
Sluisdeur (hef, punt, rol)
Sluishoofd
Sluiskolk
Vangconstructie t.b.v. scheepvaart
Voegovergang

Stap 1b: Nader detailleren van sluiselementen
Sommige elementen in de bovenstaande lijst zitten naar verwachting nog op een te hoog systeemniveau om een zinvolle schatting te kunnen geven van de bijdragen aan de MWW doelen. In die gevallen hebben wij een nadere detaillering van het betreffende sluisonderdeel uitgewerkt.

Stap 1c: Bundelen van sluisonderdelen in disciplines
Voor de laatste stap in de expertstudie zullen de experts met behulp van het *Classical Model* de bijdragen van de sluisonderdelen aan elk van de MWW-doelen kwantificeren via het schatten van drie percentielen. Indien daarvoor de volledige nader gedetailleerde lijst van onderdelen wordt gebruikt, geeft dit een te grote opgave voor de experts.

Kortom, voordat de experts gevraagd zal worden hun percentielen op te geven, is een nadere selectie benodigd. Deze selectie zal gebaseerd moeten worden op de bijdragen aan de MWW doelen en moet om die reden door de experts zelf worden bepaald. We zullen aan de hand van *paarsgewijs vergelijken* bepalen welke sluiselementen de meeste invloed hebben op ieder doel.

Om het aantal paarsgewijze vergelijkingen te beperken worden de sluiselementen gebundeld in verschillende disciplines. Dit zorgt ervoor dat het paarsgewijs vergelijken uitgevoerd kan worden in kleinere gestructureerde stappen. De sluiselementen zijn onderverdeeld in de volgende disciplines:
1. Bediening, besturing en elektrotechniek
2. Civiele bouw
3. Staalbouw
4. Waterbouw
5. Werktuigbouw.

In de tabel in Bijlage D is de uitwerking opgenomen van bepaling van de sluiselementen.

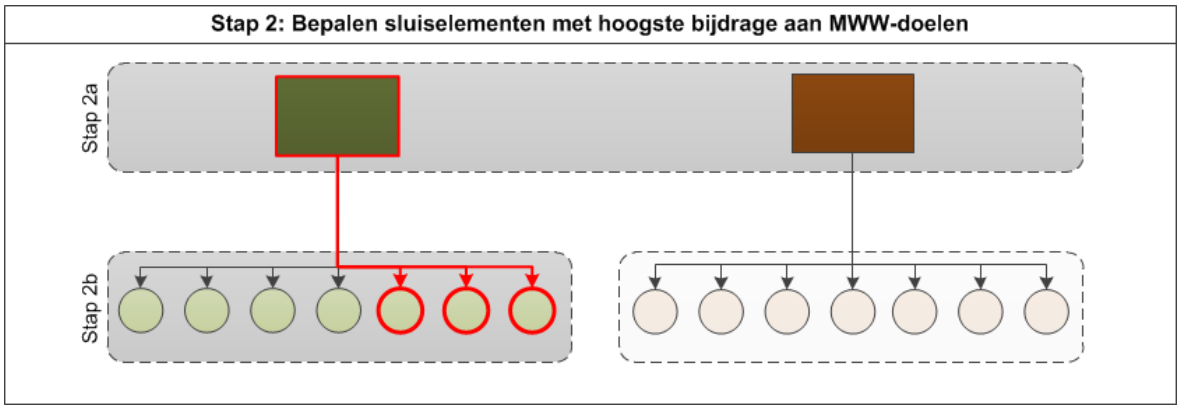
3.2.4 *Output*

De gemaakte keuzes in de voorgaande stappen hebben uiteindelijk geleid tot onderstaande lijst van sluiselementen die worden meegenomen in stap 2: de bepaling van de sluiselementen met de hoogste bijdrage aan de MWW-doelen.

Tabel 3-2: Lijst van disciplines en sluiselementen

Ronde 1	Ronde 2
Waterbouw	Onder-en achterloopsheidschermen
	Bodembescherming
	Oeverbescherming
Civiele bouw	Fundering
	Sluishoofd
	Sluiskolkvloer
	Sluiskolkwand
	Heftoren
	Frontwanden/vleugelwanden
	Omloopriolen
Staalbouw	Remming en/of geleidewerk
	Hefdeur (staal)
	Roldeur (staal)
	Puntdeur (staal)
	Nivelleerschuiven
	Afmeervoorzieningen
	Onderhoudsvoorzieningen
Bediening, besturing en elektrotechniek	Bedieningssysteem
	Besturingssysteem
	Laagspanningsinstallatie
	Hoogspanningsinstallatie
	CCTV-installatie
	Energielevering
Werktuigbouw	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektro hydraulisch
	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektromechanisch
	Aandrijving en bewegingswerk deuren, mechanisch
	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektromechanisch
	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektro hydraulisch
	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, mechanisch

3.3 Toelichting stap 2: Bepalen sluiselementen met hoogste bijdrage



Figuur 3: Stroomschema stap 2 expertstudie

3.3.1 Doel

Het doel van de bepaling van de sluiselementen met de hoogste bijdrage aan de MWW-doelen. De elementen die uit deze analyse volgen worden vervolgens in stap 3 gekwantificeerd.

3.3.2 Input

Dit is de lijst van disciplines en sluiselementen zoals deze tot stand is gekomen in §3.2.

3.3.3 Toelichting Analytical Hierarchy Process (AHP)

- Inleiding

Het paarsgewijs vergelijken gebeurt met behulp van de methode *'Analytical Hierarchy Process'* (AHP) [2]. AHP is een beslissingsondersteunende methode die wereldwijd wordt toegepast. De AHP-methode is ontwikkeld door Thomas L. Saaty in de jaren '70 van de vorige eeuw. AHP is een methode waarbij met behulp van beslissingscriteria via een voorgeschreven rekenmethode een concrete keuze gemaakt kan worden. De methode is zowel gebaseerd op psychologische fundamenten als op wiskundige technieken en is daarom uitstekend geschikt om toe te passen in groepen.

- Uitleg methodiek

De methode maakt het dus mogelijk verschillende alternatieven of criteria paarsgewijs te vergelijken en te beoordelen hoeveel de één belangrijker is dan een andere. De onderlinge vergelijking geschiedt in een matrix $\mathbf{A}$ die hieronder is weergeven (In dit voorbeeld is het een 3×3 matrix).

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

[2] Saaty, T.L. 1990: How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research 48: 9−26

De schaal die veelvuldig wordt toegepast om onderling te vergelijken is de fundamentele schaal van Saaty (Saaty,1990). De Saaty schaalverdeling is weergeven in Tabel 3-3. Deze schaal is steeds afgezet ten opzichte van een doel.

Tabel 3-3: Saaty Schaal

Intensiteit van belangrijkheid op een absolute schaal	Definitie
9	Draagt extreem meer bij aan het gestelde doel
7	Draagt zeer veel meer bij aan het gestelde doel
5	Draagt veel meer bij aan het gestelde doel
3	Draagt iets meer bij aan het gestelde doel
1	Draagt evenveel bij aan het gestelde doel
Inverse	In het geval dat activiteit i één van de bovenstaande getallen is toegekend wanneer het is vergeleken met activiteit j dan zal de activiteit j vergeleken met activiteit i de inverse van het eerder genoemde getal zijn.

In de matrix zijn drie alternatieven a1, a2 en a3 zichtbaar die met elkaar worden vergeleken. Uiteraard zullen exact dezelfde alternatieven wanneer ze met elkaar worden vergeleken gelijkwaardig worden beoordeeld. Dit betekent dat op de diagonaal alleen het getal één mag staan. Het getal 5 in de matrix hieronder voor a_{12} illustreert dat alternatief a1 veel meer bijdraagt aan het doel dan alternatief a2. Uiteraard zijn a_{12} en a_{21} elkaars inverse.

$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & a_{13} \\ 1/5 & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

Voor het bepalen van de gewichten van de alternatieven wordt gebruik gemaakt van de ‘geometrisch gemiddelde methode’. De vergelijking die de methode beschrijft is hieronder weergeven.

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left[\ln a_{ij} - \ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right]^2$$

Een nadeel van AHP is dat experts de paarsgewijze vergelijking niet altijd even consistent invullen. Vooral naarmate het aantal vergelijkingen toeneemt zal de inconsistentie van de antwoorden toenemen. Consistentie van expertschattingen kan als volgt worden beschreven. Indien alternatief 1 twee keer belangrijker is dan alternatief 2 en alternatief 2 twee keer belangrijker is dan alternatief 3 dan zal alternatief 1 uiteraard 4 keer belangrijker moeten zijn dan alternatief 3. Mensen kunnen bij hun expertschattingen inconsistent zijn en dit maakt de resultaten onbetrouwbaarder. Er is in (Saaty,1990) een methode beschreven om de consistentie van een paarsgewijze vergelijkingsmatrix te beoordelen. Deze methode leidt tot de zogenaamde inconsistentie-parameter tussen 0 en 1. Voor dit onderzoek wordt een “afkeurwaarde” van 0,1 aangehouden voor deze

parameter. De experts met een inconsistentie-parameter van 0,1 of lager worden voldoende betrouwbaar geacht. De overige experts worden niet meegenomen bij de bepaling van het gewicht van het desbetreffende alternatief.

3.3.4 *Uitwerking*

Op basis van een uitgevoerde voorstudie is een lijst van elementen opgesteld die betrekking hebben op sluizen. Om goed paarsgewijs te kunnen vergelijken is het van belang niet te veel alternatieven (maximaal 7) met elkaar te vergelijken. Dit omdat anders de inconsistentie en daarmee de foutmarge bij het invullen significant toeneemt. Aangezien het aantal elementen meer dan 7 is, is besloten deze te bundelen tot een aantal disciplines.
De experts wordt in twee stappen gevraagd de elementen aan te geven die het meeste bijdragen aan de MWW-doelen. De MWW-doelen zijn dan ook het doel waartegen de Saaty-schaal per criterium wordt afgezet. In onderstaand overzicht staan de doelen en de criteria weergegeven.

- Doel: *Verkleinen onzekerheid bouwkosten en bouwtijd*
  - Criterium: Onzekerheid Bouwkosten
  - Criterium: Onzekerheid Bouwtijd
- Doel: *Verlagen LCC*
  - Criterium: Life Cycle Costs* [3]
- Doel: *Vergroten betrouwbaarheid en beschikbaarheid*
  - Criterium: (Gemiddelde) Onbetrouwbaarheid en Niet-beschikbaarheid

Door aan de hand van de 9-punts schaal van Saaty in twee stappen aan te geven in welke mate een discipline/element meer bijdraagt aan het criterium dan een andere discipline/element komen we tot sluiselementen die het meeste bijdragen aan de MWW-doelen. Dit wordt ingevuld door de expert in onderstaande tabel.

Tabel 3-4: Voorbeeld invulsheet paarsgewijs vergelijken.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
discipline/element										discipline/element

Score	Betekenis
9	Draagt extreem meer bij
7	Draagt zeer veel meer bij
5	Draagt veel meer bij
3	Draagt iets meer bij
1	Draagt evenveel bij

Stap 1: Paarsgewijs vergelijken op het niveau van disciplines

De eerste stap bij het paarsgewijs vergelijken is het per MWW-doel bepalen welke discipline de meeste invloed heeft op de MWW-doelen. Indien uit de expertmeningen blijkt dat de bijdrage van 1 discipline veel groter is dan de bijdrage van de andere disciplines, wordt stap 2 met de

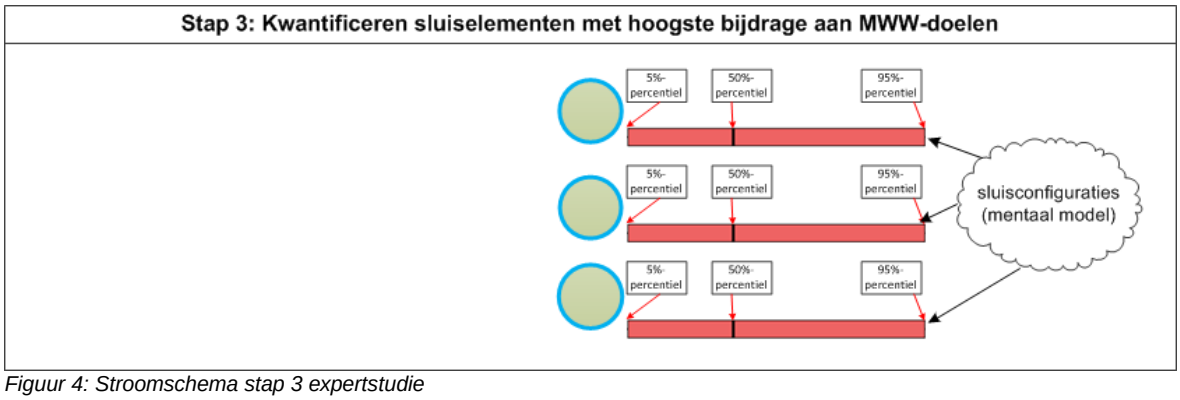
[3] In dit onderzoek zijn de LCC* de instandhoudingskosten gedurende 100 jaar, exclusief initiële aanleg- en sloopkosten

sluiselementen van deze discipline uitgevoerd. Indien blijkt dat meer disciplines een nagenoeg gelijke invloed hebben, kan worden gekozen stap 2 uit te voeren voor de sluiselementen van deze disciplines.

Stap 2: Paarsgewijs vergelijken op het niveau van sluiselementen
De sluiselementen die behoren tot de disciplines met de meeste invloed op een MWW-doel worden verder vergeleken middels paarsgewijs vergelijken. Uit deze stap komen de sluiselementen met de meeste invloed op de MWW-doelen. Daar waar er meer dan 7 sluiselementen paarsgewijs tegen elkaar vergeleken moeten worden, wordt gekozen de belangrijkste sluiselementen niet te bepalen d.m.v. paarsgewijs vergelijken. Dit omdat bij meer dan 7 sluiselementen teveel vergelijkingen[4] zijn waardoor de inconsistentie toeneemt en daarmee de betrouwbaarheid van de uitkomst afneemt. Om deze reden wordt gekozen bij meer dan 7 sluiselementen de experts elk 100 punten te laten verdelen over de verschillende sluiselementen. Die elementen met de hoogste scores, gesommeerd over alle experts, worden meegenomen naar stap 2.

3.3.5 *Output*
De sluiselementen met de grootste invloed op de projectdoelen worden opgenomen in de rapportagematrix en vervolgens gekwantificeerd met Roger Cooke's Classical Model.

3.4 Toelichting stap 3: Kwantificering sluiselementen



Figuur 4: Stroomschema stap 3 expertstudie

3.4.1 *Doel*
Het doel van deze stap is de sluiselementen die bepaald zijn met behulp van paarsgewijs vergelijken te kwantificeren in termen van de 3 MWW-doelen.

3.4.2 *Input*
De input voor het kwantificeren van de sluiselementen bestaat uit 2 onderdelen:
1. De sluiselementen zoals die bepaald worden aan de hand van de aanpak die in de vorige stap is beschreven.

[4] Aantal vergelijking wordt bepaald door (N^2-N)/2 waarbij N het aantal sluiselementen is.

2. Om de sluiselementen goed te kunnen te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd ‘mentaal denkmodel’. Dit model beschrijft 4 verschillende sluisconfiguraties die bepalend kunnen zijn voor het kwantificeren van de sluiselementen. Bij het bepalen van deze sluisconfiguraties is rekening gehouden met de kenmerken van de 53 sluizen die in het MWW-project vallen. Van deze 53 sluizen zijn van 49 sluizen kenmerken verzameld binnen de projecten RINK, InfraQuest en VONK. Deze kenmerken zijn op basis van data-analyse en inzicht van specialisten teruggebracht tot in totaal 6 kenmerken. Op basis van deze kenmerken zijn de 4 sluisconfiguratie bepaald zoals deze zijn weergegeven in Tabel 3-5.

Tabel 3-5: 4 Sluisconfiguraties van het 'mentaal denkmodel'.

Karakteristiek	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Configuratie 4
Kolkgrootte (l x b)	100m x 15m	100m x 15m	200m x 25m	200 x 25m
Maximaal verval	<5m	≥5m	<5m	≥5m
Negatief verval	Nee	Ja	Nee	Ja
Aantal schuttingen [-/jaar]	<9.000	≥9.000	<9.000	≥9.000
Klimaat	Zoet	Zoet	Zout	Zout
Ondergrond	Homogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)	Heterogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Homogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Heterogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)

Bij deze sluisconfiguraties is het goed te vermelden dat dit geen daadwerkelijk sluizen betreffen. Het betreffen fictieve, doch representatieve, sluizen die tot stand zijn gekomen op basis van data-analyse en sluisexpertise.

3.4.3 Toelichting Roger Cooke’s Classical Model

- Inleiding

De kwantificering van de sluiselementen wordt bepaald met behulp van het ‘Classical model’. Deze methode is ontwikkeld door Roger Cooke en biedt de mogelijkheid om de geschatte waarden van experts te calibreren aan de hand van de kennis die een expert heeft over een bepaald onderwerp.

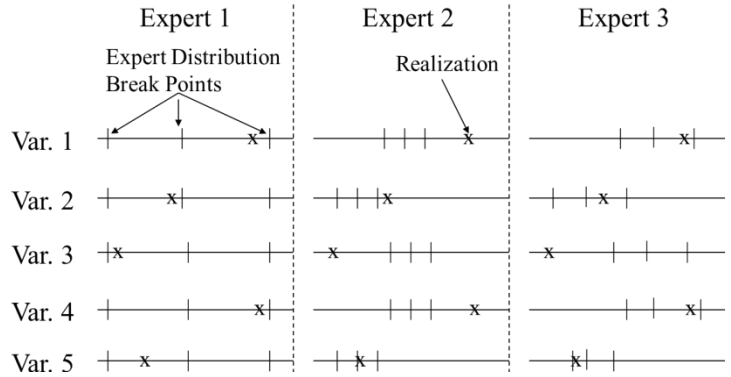
- Uitleg methodiek

Kenmerkend aan het Classical Model is het calibreren van de experts aan de hand van een serie testvragen (seed questions). Dit zijn vragen waarop de werkelijke antwoorden bij de facilitator(s) van de expertsessie bekend zijn en waarop de experts antwoorden moeten geven in de vorm van bandbreedtes (5%-, 50%- en 95%-percentielen). Deze serie testvragen bestaat bij voorkeur uit minimaal 10 vragen over meetbare grootheden (seed variables), die bij voorkeur gerelateerd zijn aan het onderwerp.

De opgegeven 5%-, 50%- en 95%-percentielen gelden als basis voor het opzetten van (cumulatieve) kansverdelingen voor de gevraagde variabelen. Vervolgens worden voor elke expert

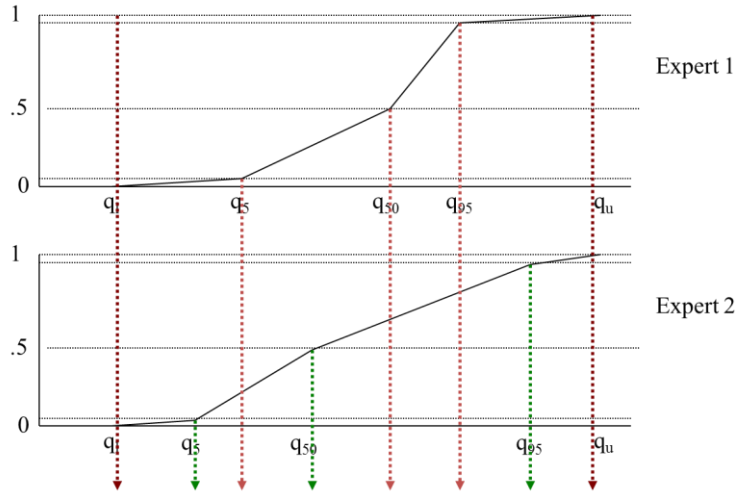
op basis van hun (cumulatieve) kansverdelingen een zogeheten *calibratiescore* en een *informatiescore* berekend. Hoe beter de kansverdelingen van een expert overeenkomen met de mate van accuratesse bij het schatten van de testvariabelen, hoe hoger zijn calibratiescore. Ter illustratie, bij een perfect gecalibreerde expert op basis van twintig testvragen ligt exact één werkelijke waarde van de testvariabelen onder het opgegeven 5%-percentiel, 9 waarden tussen de opgegeven 5%- en 50%-percentielen, nog eens 9 tussen de opgegeven 50%- en 95%-percentielen en tot slot één waarde boven het opgegeven 95%-percentiel.
De informatiescore van een expert wordt bepaald door de mate van extra informatie die hij met de kansverdelingen toevoegt aan de normale of lognormale verdeling. Praktisch gezien komt dit neer op: hoe krapper de bandbreedtes van de expert, hoe hoger de informatiescore.

Aangezien de calibratie- en informatiescore op gespannen voet met elkaar staan, brede bandbreedtes leiden immers al snel tot hogere calibratiescores maar leveren lagere informatiescores op en vice versa, leidt dit tot een zogeheten zuivere scoringsregel (“proper scoring rule”). Dit betekent dat een expert de maximale score krijgt toegekend wanneer hij zijn werkelijke mening geeft, hetgeen de betrouwbaarheid van de methode enorm ten goede komt. In onderstaande Figuur 5 is een voorbeeld weergegeven waarbij drie experts hun 5%-, 50%- en 95%-percentielen (gerepresenteerd door de verticale streepjes) hebben opgegeven voor een vijftal variabelen. De werkelijke waarden van de variabelen zijn aangegeven met een x. In dit voorbeeld is expert 1 goed gecalibreerd maar niet of nauwelijks informatief, is expert 2 zeer informatief maar slecht gecalibreerd en behaalt tot slot expert 3 een goede balans tussen calibratie en informatie.



Figuur 5: Voorbeeld van goed en minder goed gecalibreerde en informatieve experts

Na het bepalen van de individuele scores per expert zal (eventueel in een aparte sessie) worden overgegaan op het laten schatten van de variabelen, waar we in het kader van het onderzoek naar op zoek zijn. Elke expert geeft opnieuw 5%-, 50%- en 95%-percentielen voor elk van de gevraagde variabelen, waarbij deze per variabele met elkaar worden gecombineerd tot een ‘optimale schatting’ door een gewogen gemiddelde te nemen van de individuele percentielen en hiertussen lineair te interpoleren (zie Figuur 6). De gewichten komen overeen met de individuele scores van de experts.



Figuur 6: Combineren van individuele cumulatieve kansverdelingen

Op deze manier wordt voor elke onzekere variabele een optimale schatting verkregen in de vorm van een cumulatieve kansverdeling, wat als grote voordelen heeft:

- Aan de hand van de cumulatieve kansverdelingen wordt direct de mate van onzekerheid (rondom bijvoorbeeld bouwkosten en bouwtijd) inzichtelijk.
- De kansverdelingen geven inzicht in zowel de absolute als de relatieve bijdragen aan respectievelijk bouwkosten, bouwtijd, LCC en betrouwbaarheid en beschikbaarheid.
- De kansverdelingen representeren de optimale combinatie van aanwezige kennis bij de bouwers, onderhouders en beheerders.
- De kansverdelingen zijn op wetenschappelijk verantwoorde wijze tot stand gekomen, representeren de werkelijke meningen van de experts en bieden daarmee een betrouwbare basis en (dus) draagvlak voor toepassing binnen MultiWaterWerk.
- De kansverdelingen zijn direct geschikt voor het toepassen in besluitvorming onder onzekerheid, waardoor m.n. de problematiek rondom de grootschalige vervangingen van infrastructuur wordt gekenmerkt.

3.4.4 Uitwerking

Bij deze kwantificering zullen de experts gegeven een sluisconfiguratie (mentaal model) voor de verschillende sluiselementen de onzekerheid schatten (via 5%-, 50%- en 95%-percentielen) van respectievelijk:

- de bouwkosten
- de bouwtijd
- LCC* d.m.v.:
    - via jaarlijkse vaste onderhoudskosten,
    - het vervangingsinterval
- betrouwbaarheid en beschikbaarheid d.m.v.:
    - reparatieduur

Zoals bekend worden de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een functie bepaald door het aantal storingen van elementen in combinatie met de reparatieduur van elke storing. Gekozen is de experts slechts de reparatieduur van een element te laten schatten. De belangrijkste reden hiervoor is dat de betrouwbaarheid van elementen (gemiddelde tijd tussen falen (MTBF) of faalfrequentie) lastig is te schatten en bovendien goed bekend is uit andere bronnen. Over de reparatieduur van elementen is veel minder vastgelegd en is daarmee relevant om op basis van expertmeningen inzichtelijk te krijgen.

De sluiselementen waarvoor de percentielen geschat dienen te worden volgen uit stap 2 waar door middel van paarsgewijs vergelijken de belangrijkste sluiselementen naar voren zijn gekomen.

- *Output*

Een gekwantificeerde lijst van sluiselementen per MWW-doel die het meest bijdragen een het betreffende MWW-doel.

4 Uitkomsten expertstudie

4.1 Algemeen

De expertsessie is gehouden op 28 januari 2015. Er waren in totaal 20 experts aanwezig. Zie Bijlage E voor de lijst van aanwezige experts. De expertsessie bestond uit twee delen namelijk het paarsgewijs vergelijken en het kwantificeren van de bijdragen van de belangrijkste elementen. De uitkomsten van beide delen zijn in dit hoofdstuk beschreven.

4.2 Uitkomsten paarsgewijs vergelijken

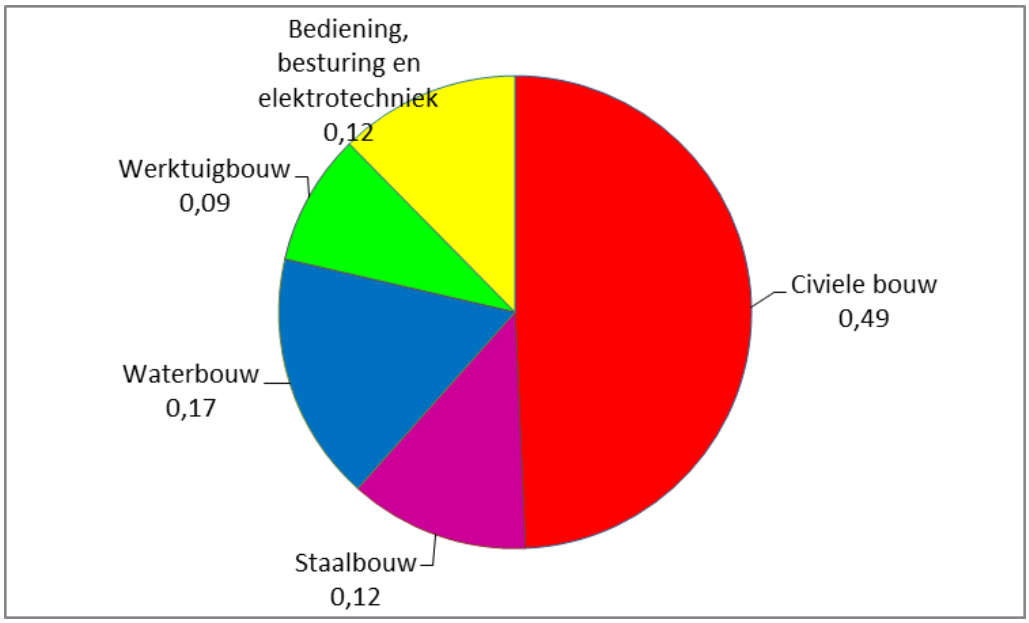
4.2.1 Doel 1a: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten.

De experts is voor elke combinatie van twee disciplines de vraag voorgelegd welke discipline meer bijdraagt aan de onzekerheid van de bouwkosten. De schaal waarmee ze hun antwoord konden geven is zichtbaar in Tabel 5-9. De vragen en schaal staan zijn in Figuur 7 weergegeven.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Bediening, besturing en elektrotechniek										Civiele Bouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Staalbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Waterbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Werktuigbouw
Civiele Bouw										Staalbouw
Civiele Bouw										Waterbouw
Civiele Bouw										Werktuigbouw
Staalbouw										Waterbouw
Staalbouw										Werktuigbouw
Waterbouw										Werktuigbouw

Figuur 7: Vragen bijdrage disciplines onzekerheid bouwkosten en bouwtijd

Elke expert heeft bovenstaande matrix individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent (zie 3.3.3) ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 8. Het is zichtbaar dat de discipline civiele bouw veel meer bijdraagt aan de onzekerheid van de bouwkosten van een sluis t.o.v. de resterende disciplines.



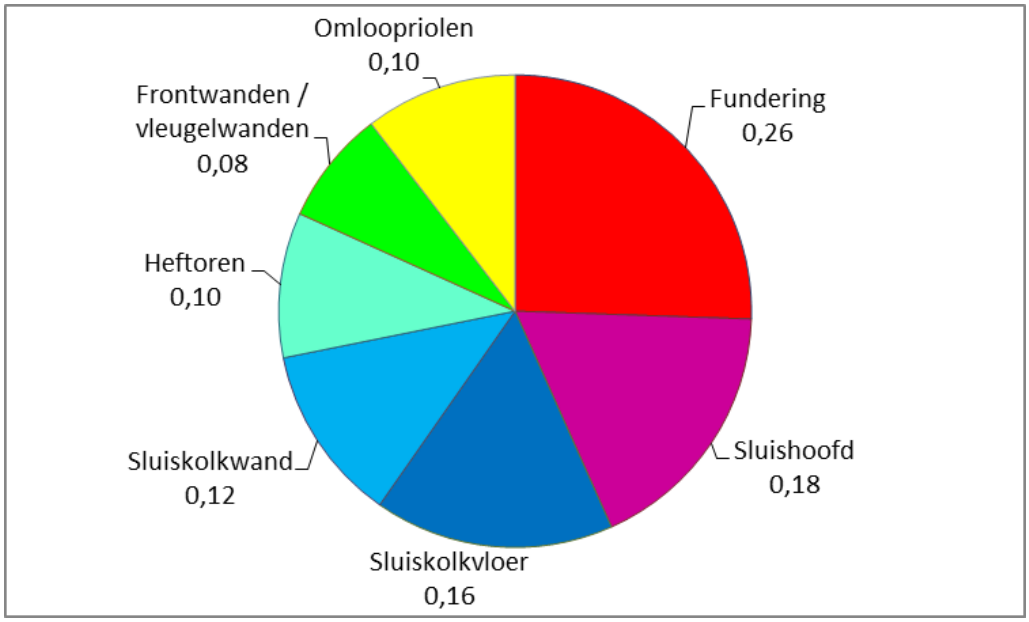
Figuur 8: Contributie disciplines onzekerheid bouwkosten

Nu duidelijk is geworden dat civiele bouw de meeste bijdrage levert aan de onzekerheid van de bouwkosten is de experts de vraag voorgelegd welke civiele elementen meer bijdragen aan de onzekerheid van de bouwkosten. De vragen en schaal staan zijn in Figuur 9 weergegeven.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Fundering										Sluishoofd
Fundering										Sluiskolkvloer
Fundering										Sluiskolkwand
Fundering										Heftoren
Fundering										Frontwanden/vleugelwanden
Fundering										Omloopriolen
Sluishoofd										Sluiskolkvloer
Sluishoofd										Sluiskolkwand
Sluishoofd										Heftoren
Sluishoofd										Frontwanden/vleugelwanden
Sluishoofd										Omloopriolen
Sluiskolkvloer										Sluiskolkwand
Sluiskolkvloer										Heftoren
Sluiskolkvloer										Frontwanden/vleugelwanden
Sluiskolkvloer										Omloopriolen
Sluiskolkwand										Heftoren
Sluiskolkwand										Frontwanden/vleugelwanden
Sluiskolkwand										Omloopriolen
Heftoren										Frontwanden/vleugelwanden
Heftoren										Omloopriolen
Frontwanden/vleugelwanden										Omloopriolen

Figuur 9: Vragen bijdrage elementen onzekerheid bouwkosten en bouwtijd

Ook hier heeft elke expert bovenstaande matrix individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 10.



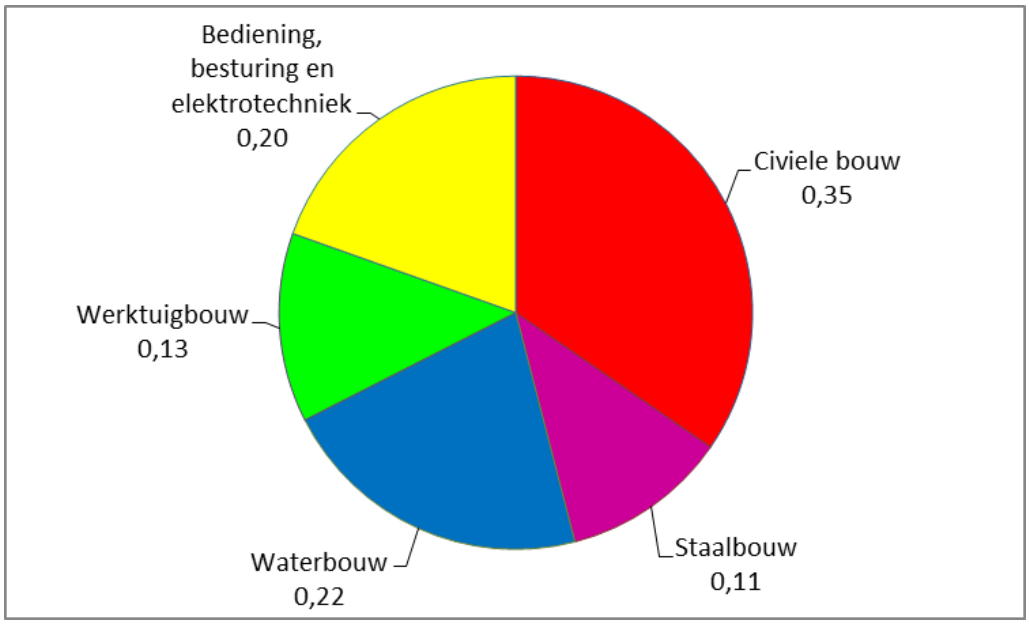
Figuur 10: Contributie civiele elementen onzekerheid bouwkosten

Het blijkt dat de fundering de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid van de bouwkosten. De andere elementen die een grote bijdrage leveren aan de onzekerheid van de bouwkosten zijn de sluiskolkvloer, sluishoofd, sluiskolkwand en omloopriolen. Deze 5 elementen zijn meegenomen naar de Roger Cooke methode voor kwantificering. De resterende elementen zoals de heftoren en frontwanden/vleugelwanden leveren een kleine bijdrage aan de onzekerheid van de bouwkosten en zijn daarom verder niet meegenomen.

4.2.2 *Doel 1b: Verkleinen onzekerheid rond bouwtijd.*

De experts is de vraag voorgelegd welke discipline meer bijdraagt aan de onzekerheid van de bouwtijd. De schaal waarmee ze hun antwoord konden geven is zichtbaar in Tabel 5-9. De vragen en schaal staan zijn in Figuur 7 weergegeven.

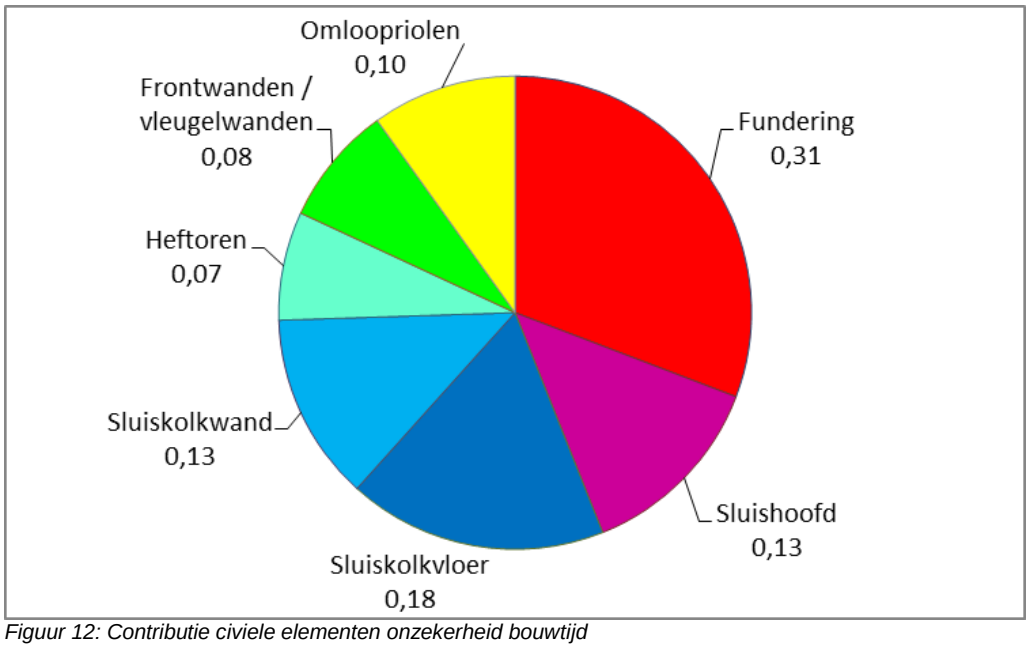
Elke expert heeft de matrix van Figuur 7 individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 11. Het is zichtbaar dat de discipline civiele bouw veel meer bijdraagt aan de onzekerheid van de bouwtijd van een sluis t.o.v. de resterende disciplines.



Figuur 11: Contributie disciplines onzekerheid bouwtijd

Nu duidelijk is geworden dat civiele bouw de meeste bijdrage levert aan de onzekerheid van de bouwtijd is de experts de vraag voorgelegd welke civiele elementen meer bijdragen aan de onzekerheid van de bouwtijd. De vragen en schaal staan zijn in Figuur 9 weergegeven.

Ook hier heeft elke expert de matrix van Figuur 9 individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: Contributie civiele elementen onzekerheid bouwtijd

Het blijkt dat de fundering de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid van de bouwtijd. De volgende grote bijdragen aan onzekerheid van de bouwtijd worden geleverd door de sluishoofd, sluiskolkvloer en sluiskolkwand. Deze 4 elementen zijn meegenomen naar de Roger Cooke methode voor kwantificering. De resterende elementen zoals de heftoren, frontwanden/vleugelwanden en omloopriolen leveren een kleinere bijdrage aan de onzekerheid van de bouwtijd en zijn daarom niet verder meegenomen.

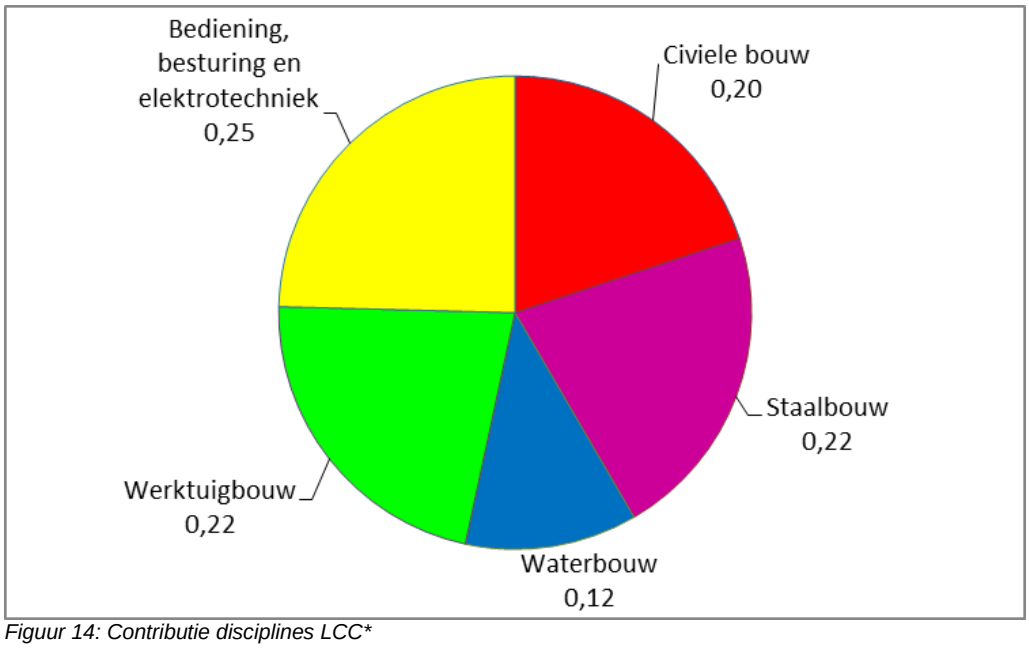
4.2.3 *Doel 2: Verlagen Life Cycle Costs.*

De experts is de vraag voorgelegd welke discipline meer bijdraagt aan de LCC*. De schaal waarmee ze hun antwoord konden geven is zichtbaar in Tabel 5-9. De vragen en schaal zijn in Figuur 13 weergegeven.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Bediening, besturing en elektrotechniek										Civiele Bouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Staalbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Waterbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Werktuigbouw
Civiele Bouw										Staalbouw
Civiele Bouw										Waterbouw
Civiele Bouw										Werktuigbouw
Staalbouw										Waterbouw
Staalbouw										Werktuigbouw
Waterbouw										Werktuigbouw

*Figuur 13: Vragen bijdrage disciplines verlagen LCC**

Elke expert heeft bovenstaande matrix individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 14. Uit deze figuur blijkt dat er geen duidelijk onderscheid tussen de disciplines is te maken wat betreft hun bijdrage tot LCC*.



*Figuur 14: Contributie disciplines LCC**

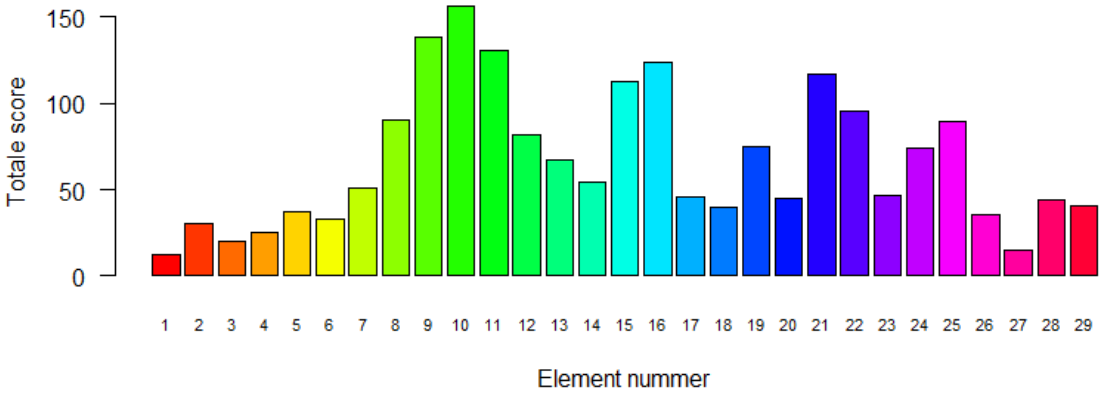
Vanwege de gelijkmatige verdeling van bijdragen per discipline aan de LCC* is besloten de experts een totaal van 100 punten te laten verdelen over alle elementen ongeacht de discipline. Deze elementen zijn opgenomen in Tabel 4-1. Dit was ook de tabel waarin de experts hun 100 punten moesten verdelen.

Tabel 4-1: Lijst met sluiselementen

#	Onderdeel	Gewicht
1	Fundering	
2	Sluishoofd	
3	Sluiskolkvloer	
4	Sluiskolkwand	
5	Heftoren	
6	Frontwanden/vleugelwanden	
7	Omloopriolen	
8	Remming en/of geleidewerk	
9	Hefdeur (staal)	
10	Roldeur (staal)	
11	Puntdeur (staal)	
12	Nivelleerschuiven	
13	Afmeervoorzieningen	
14	Onderhoudsvoorzieningen	
15	Bedieningssysteem	
16	Besturingssysteem	
17	Laagspanningsinstallatie	

#	Onderdeel	Gewicht
18	Hoogspanningsinstallatie	
19	CCTV-installatie	
20	Energielevering	
21	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektro hydraulisch	
22	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektromechanisch	
23	Aandrijving en bewegingswerk deuren, mechanisch	
24	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektromechanisch	
25	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektro hydraulisch	
26	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, mechanisch	
27	Onder- en achterloopsheidschermen	
28	Bodembescherming	
29	Oeverbescherming	

Uiteindelijk zijn alle ingevulde tabellen geaggregeerd tot het overzicht in Figuur 15.
In deze figuur is te zien dat de elementen die de hoogste bijdragen leveren aan LCC*, diverse typen deuren zijn, specifieker de hefdeur, puntdeur en roldeur. Deze elementen zijn daarom meegenomen in de Roger Cooke methode voor kwantificering. Tijdens de Roger Cooke sessie is de experts gevraagd zowel de jaarlijkse vaste onderhoudskosten als het vervangingsinterval van deze elementen te kwantificeren.



*Figuur 15: Contributie elementen LCC**

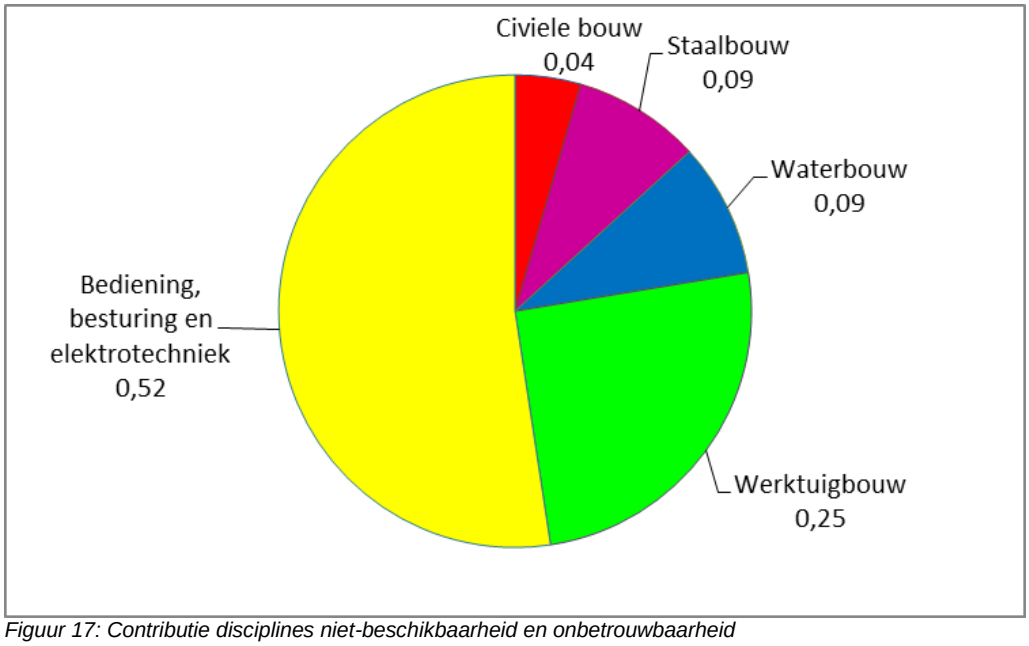
4.2.4 *Doel 3: Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.*

De experts is de vraag voorgelegd welke discipline meer bijdraagt aan de niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid van een sluis. De schaal waarmee ze hun antwoord konden geven is zichtbaar in Tabel 5-9. De vragen en schaal staan zijn in Figuur 16 weergegeven.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Bediening, besturing en elektrotechniek										Civiele Bouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Staalbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Waterbouw
Bediening, besturing en elektrotechniek										Werktuigbouw
Civiele Bouw										Staalbouw
Civiele Bouw										Waterbouw
Civiele Bouw										Werktuigbouw
Staalbouw										Waterbouw
Staalbouw										Werktuigbouw
Waterbouw										Werktuigbouw

Figuur 16: Vragen bijdrage disciplines aan niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid

Elke expert heeft bovenstaande matrix individueel ingevuld. Het uiteindelijke resultaat is een aggregatie van alle consistent ingevulde matrices. Dit resultaat is weergegeven in Figuur 17. Uit deze figuur blijkt dat er 2 disciplines zeer dominant zijn als het gaat om bijdragen aan de niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid, namelijk BBE en werktuigbouw.



Figuur 17: Contributie disciplines niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid

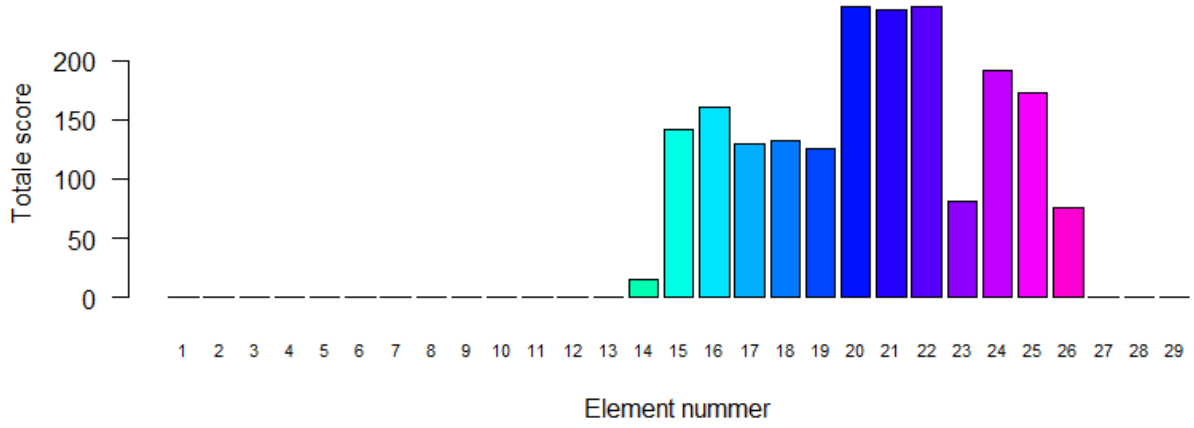
Er zijn veel elementen die betrokken zijn bij de disciplines werktuigbouw en BBE. Een AHP analyse voor experts is heel moeilijk omdat het zeer moeizaam is voor een expert om consistent te blijven wanneer er veel (meer dan 7) elementen met elkaar moeten worden vergeleken. Er is om deze reden gekozen de experts een totaal van 100 punten te laten verdelen over alle elementen van de

2 disciplines. Deze elementen zijn opgenomen in Tabel 4-2. Dit was ook de tabel waarin de experts hun 100 punten moesten verdelen.

Tabel 4-2: Elementen van de disciplines BBE en werktuigbouw

#	Onderdeel	Gewicht
14	Onderhoudsvoorzieningen	
15	Bedieningssysteem	
16	Besturingssysteem	
17	Laagspanningsinstallatie	
18	Hoogspanningsinstallatie	
19	CCTV-installatie	
20	Energielevering	
21	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektro hydraulisch	
22	Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektromechanisch	
23	Aandrijving en bewegingswerk deuren, mechanisch	
24	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektromechanisch	
25	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, elektro hydraulisch	
26	Aandrijving en bewegingswerk nivelleermiddelen, mechanisch	

Uiteindelijk zijn alle ingevulde tabellen geaggregeerd tot het overzicht in Figuur 18.
De elementen met de hoogste bijdrage aan de niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid krijgen de hoogste score. In de figuur is de totale score te zien die de experts hebben toegekend aan diverse onderdelen. Hieruit blijkt dat de elementen die de hoogste contributie leveren aan onbetrouwbaarheid en niet-beschikbaarheid de energielevering, elektrohydraulische aandrijving en bewegingswerk deuren, en elektromechanische aandrijving en bewegingswerk deuren zijn. Deze elementen zijn daarom meegenomen in de Roger Cooke methode voor kwantificering. Tijdens de Roger Cooke sessie is de experts gevraagd de reparatieduur van deze elementen te kwantificeren.



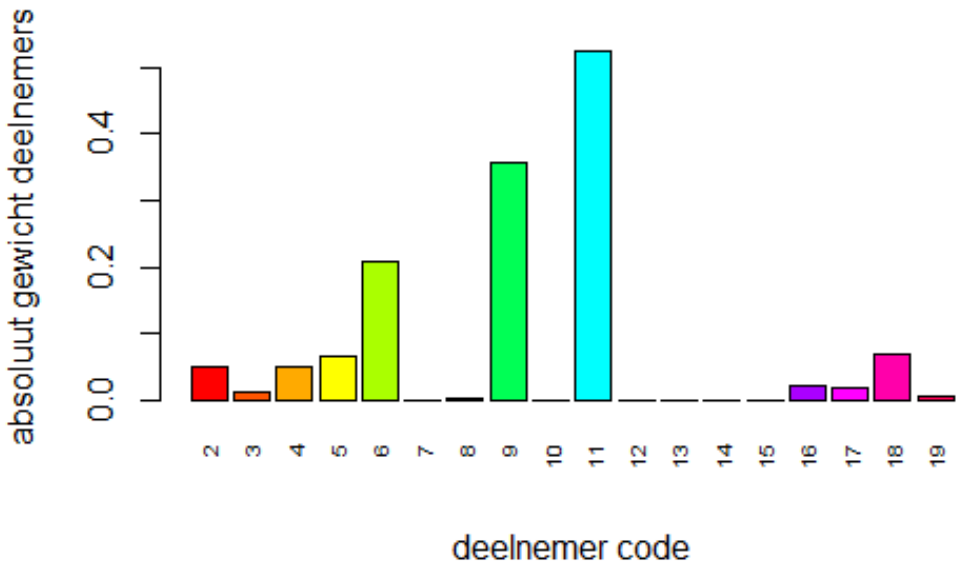
Figuur 18: Contributie elementen niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid BBE en werktuigbouwkunde

4.3 Uitkomsten Roger Cooke's Classical Model

4.3.1 Gewichten

Roger Cooke's Classical Model houdt rekening met het feit dat niet elke expert in dezelfde mate in staat is zijn of haar onzekerheid over variabelen te representeren. Elke expert krijgt dan ook een gewicht toegewezen aan de hand van testvragen.

Er hebben in totaal 20 experts meegedaan aan de Cooke sessie. De deelnemers met code 1 en code 20 zijn vroegtijdig vertrokken waardoor voor 18 experts het gewicht is berekend. De geanonimiseerde gewichten zijn zichtbaar in Figuur 19. Het gewicht dat elke expert krijgt weegt mee bij de aggregatie van antwoorden op de uiteindelijke vragen.



Figuur 19: Absolute gewichten Roger Cooke Methode

4.3.2 Algemene toelichting uitkomsten

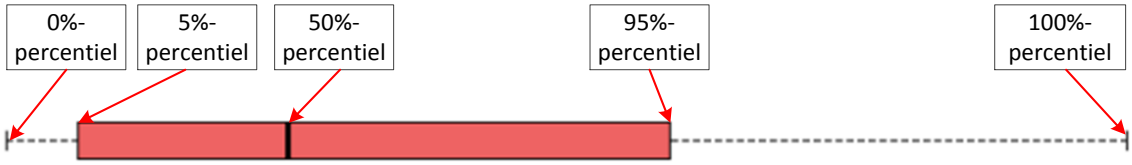
De resultaten van de verschillende vragen zijn weergegeven door middel van een boxplot. In deze boxplot staan de 0%, 5%, 50%, 95% en 100% percentielen weergegeven.
De uitkomsten staan per element in combinatie met een sluisconfiguratie weergegeven. Zo staat bijvoorbeeld OR1 voor de omloopriolen van sluisconfiguratie 1.

De sluisconfiguraties zijn in Tabel 4-3 weergegeven. De totstandkoming van deze configuraties staat beschreven in §3.4.2 en Bijlage B.

Tabel 4-3: Sluisconfiguraties

Karakteristiek	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Configuratie 4
Kolkgrootte (l x b)	100m x 15m	100m x 15m	200m x 25m	200 x 25m
Maximaal verval	<5m	≥5m	<5m	≥5m
Negatief verval	Nee	Ja	Nee	Ja
Aantal schuttingen [-/jaar]	<9.000	≥9.000	<9.000	≥9.000
Klimaat	Zoet	Zoet	Zout	Zout
Ondergrond	Homogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)	Heterogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Homogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Heterogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)

Toelichting boxplot:



Figuur 20: Toelichting boxplot

In Figuur 20 staat een voorbeeld van een boxplot zoals deze in onderstaande paragrafen wordt toegepast om de uitkomsten te beschrijven. Om de leesbaarheid van deze boxplot voor iedereen helder te maken worden de verschillende percentielen hier kort toegelicht:

- 0%-percentiel: dit percentiel geeft de laagst geschatte waarde van alle expertschattingen min 10% weer.
- 5%-percentiel: dit percentiel geeft weer dat de onderschrijdingskans van deze waarde 5% is. Met andere woorden, 5% van de realisaties zal lager dan of gelijk zijn aan de waarde van dit percentiel en 95% van de realisaties zal groter zijn dan de waarde van dit percentiel.
- 50%-percentiel: dit percentiel geeft weer dat de onderschrijdingskans van deze waarde 50% is. Met andere woorden, 50% van de realisaties zal lager dan of gelijk zijn aan de waarde van dit percentiel en 50% van de realisaties zal groter zijn dan de waarde van dit percentiel. Dit wordt ook wel de mediaan genoemd.
- 95%-percentiel: dit percentiel geeft weer dat de onderschrijdingskans van deze waarde 95% is. Met andere woorden, 95% van de realisaties zal lager dan of gelijk zijn aan de waarde van dit percentiel en 5% van de realisaties zal groter zijn dan de waarde van dit percentiel.
- 100%-percentiel: dit percentiel geeft de hoogst geschatte waarde van alle expertschattingen plus 10% weer.

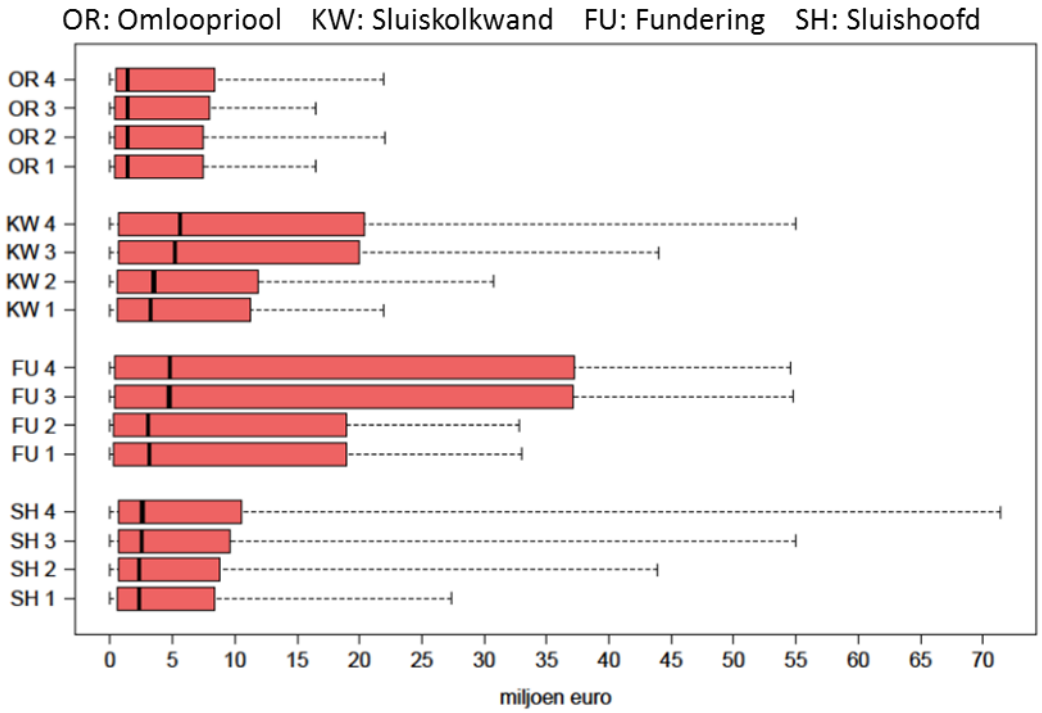
4.3.3 *Onzekerheid bouwkosten*

De onzekerheid van de bouwkosten van verschillende elementen is onderzocht. De resultaten zijn zichtbaar in Figuur 21. De 0%, 5%, 50%, 95% en 100% waarden zijn aangegeven in de boxplot.

De omloopriolen (OR), sluiskolk wand (KW), fundering (FU) en sluishoofd (SH) voor de sluisconfiguraties 1 tot en met 4 zijn opgenomen in de afbeelding.

Conclusies:

- De fundering heeft de grootste spreiding in de opgegeven waarden als we kijken naar het 5%-95% interval. De fundering geeft dus ten opzichte van de overige 3 elementen een grotere onzekerheid in de bouwkosten. Na de fundering volgen de sluiskolkwanden, de sluishoofden en als laatste de omloopriolen.
- Voor wat betreft de sluiskolkwanden en de fundering is te zien dat de onzekerheid toeneemt naarmate de sluis groter wordt. Zowel de sluiskolkwanden als de fundering laten bij configuratie 3 en 4 een significant groter 5%-95% interval zien. Dit geldt ook voor de elementen omloopriolen en sluishoofden maar daar is het verschil minder groot.



Figuur 21: Boxplot (0%,5%,50%,95%,100%) onzekerheid bouwkosten

4.3.4 *Onzekerheid bouwtijd*

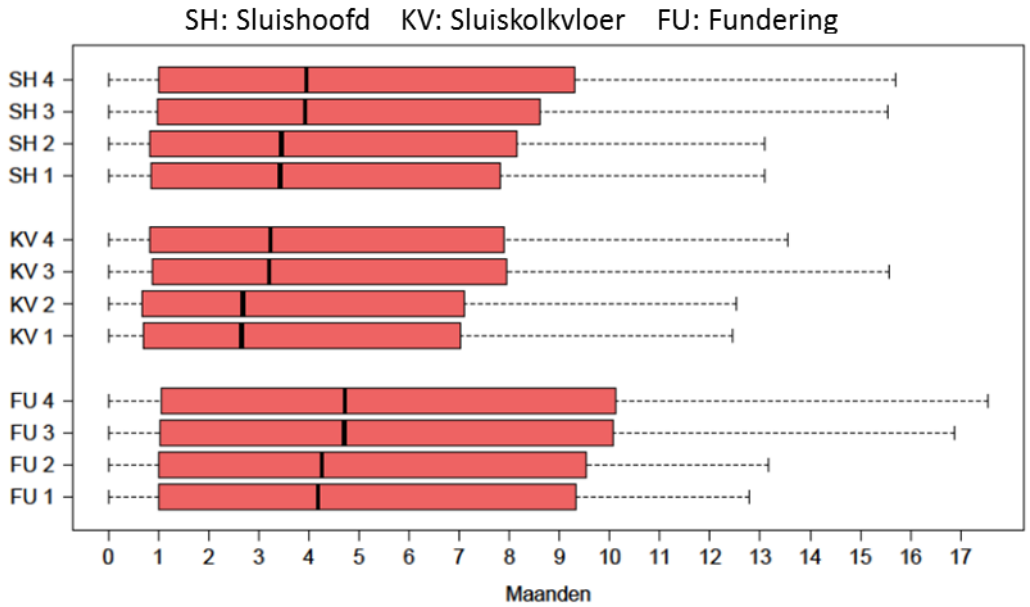
De onzekerheid van de bouwtijd van verschillende elementen is onderzocht. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 22. De 0%, 5%, 50%, 95% en 100% waarden zijn aangegeven in de boxplot. De fundering (FU), sluiskolk vloer (KV) en sluishoofd (SH) voor de sluisconfiguraties 1 tot en met 4 zijn opgenomen in de afbeelding.

Conclusies:

- De fundering heeft de grootste spreiding in de opgegeven waarden als we kijken naar het 5%-95% interval. Al is het verschil met de overige elementen minder groot dan bij bouwkosten. De

fundering geeft dus ten opzichte van de overige 2 elementen een grotere onzekerheid in de bouwtijd. Na de fundering volgen de sluishoofden en de sluiskolkvloer.

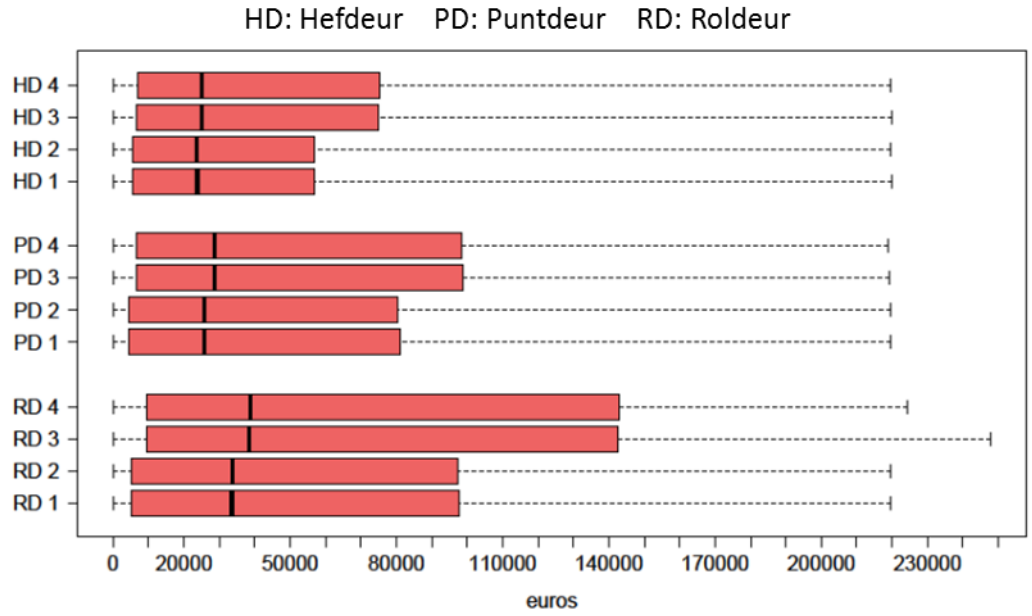
- Voor alle elementen neemt de onzekerheid naarmate de sluis groter wordt ook toe.



Figuur 22: Boxplot (0%,5%,50%,95%,100%) onzekerheid bouwtijd

4.3.5 *LCC**

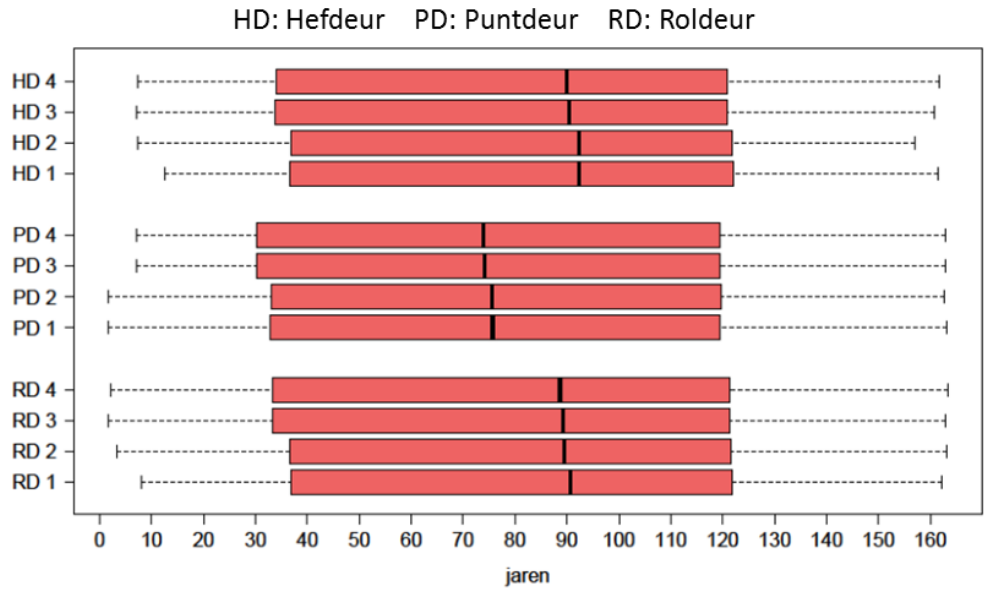
De onderhoudskosten zijn opgenomen in Figuur 23. De vervangingsintervallen zijn opgenomen in Figuur 24. De 0%, 5%, 50%, 95% en 100% waarden zijn aangegeven in de boxplot. Een hefdeur (HD), puntdeur (PD) en roldeur (RD) voor de sluisconfiguraties 1 tot en met 4 zijn opgenomen in de afbeelding.



Figuur 23: Boxplot (0%,5%,50%,95%,100%) LCC (onderhoudskosten)*

Conclusies onderhoudskosten:

- De roldeuren hebben hogere mediane onderhoudskosten dan de overige 2 deurtypen. Voor de overige 2 deurtypen is deze nagenoeg gelijk.
- Wel is er een groot verschil in de onzekerheid van de onderhoudskosten. Deze is voor de roldeur significant groter dan de puntdeuren en voor de puntdeuren weer hoger dan voor hefdeuren.
- Naarmate de sluis groter wordt neemt de onzekerheid in onderhoudskosten voor alle deurtypen toe.



Figuur 24: Boxplot (0%,5%,50%,95%,100%) LCC (vervangingsinterval)*

Conclusies vervangingsintervallen:

- De onzekerheid (5%-95% bandbreedte) is nagenoeg gelijk voor de verschillende typen deuren.
- Het verschil uit zich vooral bij de mediaan. De mediaan van de HD en RD zijn ongeveer even groot. De mediaan van de puntdeur is aanzienlijk lager dan die van de hefdeur en roldeur. De conclusie is dat puntdeuren in het algemeen sneller aan vervanging toe zijn dan hefdeuren en roldeuren.

Het vervangingsinterval van grote sluizen is gelijk aan die van de kleinere sluizen (mediaan is ongeveer gelijk). Ook de onzekerheid van het vervangingssinterval is ongeveer gelijk voor alle sluisgroottes.

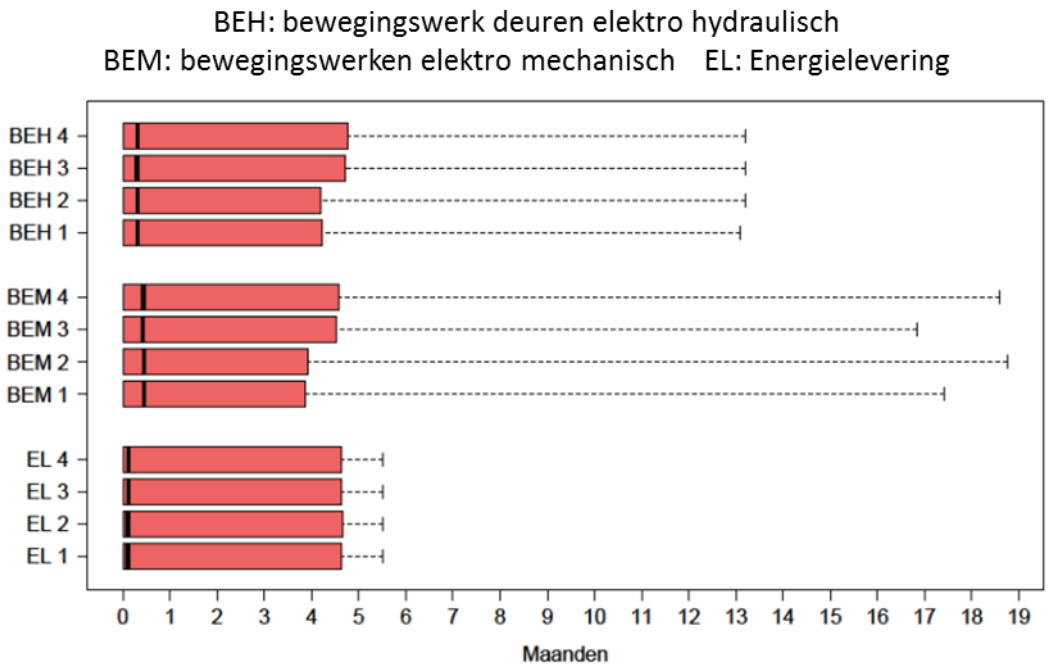
4.3.6 Onbetrouwbaarheid & Niet-beschikbaarheid

De uitkomst voor de reparatieduren is opgenomen in Figuur 25. De 0%, 5%, 95% en 100% waarden zijn aangegeven in de boxplot. De bewegingswerken elektrohydraulisch (BEH), bewegingswerken elektromechanisch (BEM) en de energielevering (EL) voor de sluisconfiguraties 1 tot en met 4 zijn opgenomen in de afbeelding. Merk op dat met energielevering de elementen voor de energieverdeling (verdeelkasten, trafo's, schakelaars etc.) binnen de sluis worden bedoeld en niet de toelevering vanuit het openbare energienet.

Conclusies vervangingsintervallen:

- Er zijn geen uitschieters qua onzekerheid van de reparatieduur wanneer zowel de elementen als de configuraties worden vergeleken.
- Er zijn wel lichte indicaties dat de reparatieduur van BEM iets langer is omdat de mediaan groter is dan de mediaan van de reparatieduur van de BEH.
- Energielevering heeft de laagste mediane reparatieduren.

- Interessant om te benoemen is dat de energielevering de kleinste 0-100% bandbreedte heeft. Dit is een indicatie dat er volgens de experts geen zeldzame gevallen optreden waar de reparatieduur van energielevering heel groot is.



Figuur 25: Boxplot (0%,5%,50%,95%,100%) Onbetrouwbaarheid & Niet-beschikbaarheid (reparatieduur)

5 Conclusies & aanbevelingen

5.1 Algemene conclusies

- Hoewel veel informatie wordt vastgelegd over geraamde bouwkosten en LCC, zijn representatieve gegevens over gerealiseerde bouw- en instandhoudingskosten nauwelijks tot niet beschikbaar bij RWS, en al helemaal niet op (sluis)elementniveau.
- Dit geldt in (iets) mindere mate eveneens voor bouwtijd.
- Betrouwbare en representatieve storingsinformatie voor het bepalen van de werkelijke RAM-prestaties van sluizen is nauwelijks tot niet beschikbaar (voor ons) bij RWS, en al helemaal niet op (sluis)elementniveau.

Bovenstaande punten maken het sturen op de drie MWW-doelen uiterst lastig. We zijn hiervoor dan ook aangewezen op de kennis in de hoofden van experts bij RWS en de markt. Op basis van de hiervoor beschreven expertstudie kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het blijkt dat het voor veel experts zeer lastig is de waarden van, en met name de onzekerheid rondom, aspecten als bouwkosten, bouwtijd, LCC en R&A te schatten.
- Met geavanceerde(re) expertmeningen-methoden als AHP en Roger Cooke's Classical Model is het niettemin mogelijk betrouwbare schattingen voor deze aspecten uit expertschattingen af te leiden. Zie §5.2 en §5.3 voor de uitkomsten van deze schattingen.

5.2 Conclusies data-analyse

De data-analyse levert niet of nauwelijks een antwoord op de vraag welke sluiselementen een significante bijdrage leveren aan de MWW-doelen. Op basis van de RA-analyses die zijn uitgevoerd binnen het project RINK is hooguit voorzichtig te concluderen dat de disciplines 'energielevering' en 'bediening en besturing' significant bijdragen aan de gemiddelde niet-beschikbaarheid en/of onbetrouwbaarheid van sluizen.

5.3 Conclusies expertonderzoek

Paarsgewijs vergelijken

Het doel van het paarsgewijs vergelijken was het achterhalen welke sluiselementen de grootste bijdragen leveren aan de MWW-doelen. De elementen met de grootste bijdrage zijn vervolgens met behulp van de Roger Cooke methode gekwantificeerd. Per MWW-doel zijn de volgende elementen gekwantificeerd :

Doel 1a: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten.

- Fundering
- Sluishoofd
- Sluiskolkwand
- Omloopriolen

Doel 1b: Verkleinen onzekerheid rond bouwtijd.

- Fundering
- Sluishoofd
- Sluiskolkvloer

Doel 2: Verlagen Life Cycle Costs.

- Hefdeur
- Puntdeur
- Roldeur

Doel 3: Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid.

- Energielevering
- Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektro hydraulisch
- Aandrijving en bewegingswerk deuren, elektromechanisch

Conclusie Roger Cooke

In onderstaande tabellen wordt per MWW-doel aangegeven welke sluiselementen het meest bijdragen aan het desbetreffende doel. Deze sluiselementen volgen uit de paarsgewijze vergelijking.

- Doel 1a: Verkleinen onzekerheid rond bouwkosten.

Voor dit doel is aan de experts gevraagd een schatting te geven van de bouwkosten van enkele sluiselementen. In onderstaande tabel zijn de sluiselementen weergegeven in volgorde van de grootte van de bijdrage aan de onzekerheid van de bouwkosten. Hierbij is gekeken naar de grootte van de spreiding van het 0%-95% interval. Naarmate dit interval groter is, is de onzekerheid van deze kosten ook groter. In het geval van de fundering was de spreiding het grootst en is in onderstaande tabel op 1 gezet. De overige 3 elementen zijn vergeleken ten opzichte van de fundering. Daaruit blijkt dus dat de onzekerheid van de fundering als het gaat om de bouwkosten ongeveer 2 keer zo groot is als de overige elementen.

Tabel 5-1: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan onzekerheid bouwkosten.

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Fundering	1,00	1,00	1,00	1,00
Sluiskolkwand	0,57	0,61	0,52	0,55
Sluishoofd	0,42	0,43	0,24	0,28
Omloopriolen	0,37	0,39	0,21	0,22

- Doel 1b: Verkleinen onzekerheid rond bouwtijd.

Voor dit doel is aan de experts gevraagd een schatting te geven van de bouwtijd van enkele sluiselementen. In onderstaande tabel zijn de sluiselementen weergegeven in volgorde van de grootte van de bijdrage aan de onzekerheid van de bouwtijd. Hierbij is gekeken naar de grootte van de spreiding van het 0%-95% interval. Naarmate dit interval groter is, is de onzekerheid van de geschatte bouwtijd ook groter. In het geval van de fundering was de spreiding het grootst en is in

onderstaande tabel op 1 gezet. De overige 2 elementen zijn vergeleken ten opzichte van de fundering. Daaruit blijkt dus dat de onzekerheid van de fundering als het gaat om de bouwkosten ongeveer 1,2 keer zo groot is als de overige elementen. De verschillen zijn hier dus zichtbaar kleiner dan bij bouwkosten, daar was de fundering veel dominanter.

Tabel 5-2: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan onzekerheid bouwtijd.

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Fundering	1,00	1,00	1,00	1,00
Sluishoofd	0,84	0,86	0,85	0,91
Sluiskolkvloer	0,76	0,75	0,78	0,78

- Doel 2: Verlagen Life Cycle Costs.

Voor dit doel is aan de experts gevraagd aan te geven wat het vervangingsinterval van de 3 typen deuren is. In onderstaande tabel is een vergelijking gemaakt tussen de geschatte medianen. De mediaan van de hefdeur was het hoogste en is op 1 gesteld. De overige 2 soorten deuren zijn vergeleken met de hefdeur. Hieruit volgt dat het mediane vervangingsinterval van de hefdeur en roldeur nagenoeg gelijk is. Het mediane vervangingsinterval van de puntdeur is iets lager.

Tabel 5-3: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan verlagen LCC (vervangingsinterval).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Hefdeur	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Roldeur	**0,99**	**0,98**	**0,98**	**0,98**
Puntdeur	**0,83**	**0,82**	**0,82**	**0,82**

Voor dit doel is aan de experts gevraagd om naast het vervangingsinterval ook aan te geven wat de onderhoudskosten van de 3 typen deuren zijn. In onderstaande tabel is een vergelijking gemaakt tussen de geschatte medianen. De mediaan van de roldeur was het hoogste en is op 1 gesteld. De overige 2 soorten deuren zijn vergeleken met de roldeur. Hieruit volgt dus dat de mediane onderhoudskosten voor de roldeur het hoogst zijn gevolgd door de puntdeur en hefdeur. Het verschil tussen de puntdeur en hefdeur is minimaal.

Tabel 5-4: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan verlagen LCC (onderhoudskosten).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Roldeur	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Puntdeur	**0,79**	**0,78**	**0,75**	**0,75**
Hefdeur	**0,71**	**0,70**	**0,66**	**0,66**

- Doel 3: Vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid

Voor dit doel is aan de experts gevraagd aan te geven wat de reparatieduur van 3 sluiselementen was. In onderstaande tabel is een vergelijking gemaakt tussen de geschatte medianen. De mediaan van het aandrijving bewegingswerk elektromechanisch was het hoogste en is op 1 gesteld. De overige 2 sluiselementen zijn vergeleken ten opzichte van de aandrijving bewegingswerk elektromechanisch. Hieruit volgt dus dat de mediane reparatieduur voor de

aandrijving bewegingswerk elektromechanisch het langst is gevolgd door de aandrijving bewegingswerk elektro hydraulisch. De mediane reparatieduur van de energielevering is ten opzichte van de overige 2 significant lager geschat.

Tabel 5-5: Vergelijking bijdragen sluiselementen aan vergroten beschikbaarheid en betrouwbaarheid (reparatieduur).

	Sluisconfiguratie 1	Sluisconfiguratie 2	Sluisconfiguratie 3	Sluisconfiguratie 4
Aandrijving bewegingswerk elektromechanisch	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Aandrijving bewegingswerk elektro hydraulisch	**0,70**	**0,70**	**0,70**	**0,71**
Energielevering	**0,23**	**0,24**	**0,26**	**0,22**

5.4 Aanbevelingen

Om te kunnen sturen op het verhogen van de voorspelbaarheid van bouwkosten en bouwtijd, het verlagen van LCC en het vergroten van betrouwbaarheid en beschikbaarheid, wordt aanbevolen op bredere schaal, meer gestructureerd en doelgerichter informatie over deze aspecten te verzamelen en vast te leggen. Meer specifiek wordt in onderstaande opsomming een aanzet gegeven welke informatie RWS zou moeten verzamelen om meer inzicht te krijgen in de MWW-doelen.

- Bouwkosten: het verzamelen en archiveren van probabilistische ramingen plus de uiteindelijke gemaakte kosten op het niveau van bouwdelen. Daarnaast wordt sterk aanbevolen de oorzaken van (onvoorziene) kostenverhogingen goed te registreren.
- Bouwtijd: het verzamelen en archiveren van probabilistische planningen plus de uiteindelijke bouwtijd op het niveau van bouwdelen. Daarnaast wordt sterk aanbevolen de oorzaken van (onvoorziene) vertragingen goed te registreren.
- LCC: Het voorschrijven van gegevens die onderhoudspartijen moeten vastleggen bij het onderhouden van objecten die RWS in beheer heeft. Daarnaast zouden gerichte interviews met sluisbeheerders/-bedienaars over onderhoudsintervallen, storingen, etc. kunnen bijdragen aan het opzetten van een database waarin de voor LCC belangrijke gegevens kunnen worden opgenomen.
- Betrouwbaarheid en beschikbaarheid: er zijn, naast de overzichten in de Leidraad Kunstwerken, weliswaar veel handboeken en databanken met generieke RAM-data beschikbaar, zoals EiReDA, OREDA, MIL-HDBK-217F, EPRD en NPRD, maar deze hebben als nadeel dat ze relatief prijzig zijn, onvoldoende objectspecifieke data bevatten, en bovendien soms sterk van elkaar kunnen afwijken in het geval van vergelijkbare componenten.

  Rijkswaterstaat heeft via het Steunpunt ProBO in 2012 al een goede aanzet gegeven tot het selecteren van geschikte RAM-gegevens in de RWS faaldatabase (versie 1.1). Deze database is, zover bekend bij de auteurs, echter nooit formeel vrijgegeven en sinds 2012 niet meer bijgewerkt. In de database ligt de nadruk bovendien (logischerwijs) op RAM-data van elektrotechnische en mechanische componenten en ontbreken civiele onderdelen. De

in de database opgenomen RAM-data zijn daarnaast nog grotendeels generiek. Aanbevolen wordt deze, of een vergelijkbare centrale, database te gebruiken en de gegevens in eerste instantie aan te vullen met expertmeningen, en vervolgens regelmatig bij te stellen met behulp van meetgegevens vanuit de eigen objecten, projecten en leveranciers van RWS. Deze metingen dienen op verschillende niveaus plaats te vinden, waaronder netwerkniveau (bijv. corrdidors), complexniveau (bijv. sluiscomplex), objectniveau (bijv. kunstwerk) en componentniveau (bijv. pomp, klep, schakelaar, PLC). Hierbij is het overigens zaak dat niet alleen storingsgegevens (MTBF's) worden verzameld, maar ook aspecten als gemiddelde respons- en reparatietijden (MTTR's), en informatie over het storingsgedrag van componenten.

Hiertoe zal moeten worden nagedacht over de wijzen waarop ontbrekende data kunnen worden gemeten en zal op basis hiervan een organisatiebreed monitoringsprogramma moeten worden opgezet. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld continue metingen voor het achterhalen van faaldata en beschikbaarheid, tijdsgegevens voor wat betreft onderhoud (hoe vaak, hoe lang), vervangingsgegevens, ongelukken en bijna ongelukken voor wat betreft de veiligheid van onderdelen en componenten, etc.

Aanbevolen wordt ook in onderhoudscontracten met opdrachtnemers op te nemen op welke wijze er door hen gemonitord dient te worden alsmede de frequentie en de wijze waarop de data opgeslagen dienen te worden. Belangrijk aandachtspunt hierbij is overigens wel het feit dat RAM-data ook bedrijfsgevoelige informatie bevatten van de opdrachtnemers / leveranciers. Een (openbare) centrale database maakt het mogelijk dat productgegevens tussen leveranciersgegevens worden vergeleken. Hoewel vele organisaties dit doen, kan een juridische verificatie op dit aspect geen kwaad.

Tot slot wordt aanbevolen samenwerking te zoeken met andere infrabeheerders, in het bijzonder ProRail, op het gebied van inwinnen, centraal beheren en analyseren van RAM-data. De infrastructuur is immers sterk vergelijkbaar en in de statistische wereld van RAMS geldt "hoe meer gegevens, hoe beter". Bovendien kan het tot efficiëntievoordelen leiden wanneer de handen ineen worden geslagen. De grote hoeveelheden gegevens zullen met de recente Big Data-technieken op efficiënte wijze kunnen worden geanalyseerd.

BIJLAGE A. DATABASE SLUIZEN

De database sluizen is tot stand gekomen op basis van de volgende projecten:

- RINK
- VONK
- InfraQuest

Van de 53 te renoveren/vervangen sluizen konden van 38 sluizen de gegevens overgenomen worden uit bovengenoemde projecten. Van 12 sluizen waren geen gegevens die 1 op 1 overgenomen konden worden, hierbij is gekozen voor objecten die op het zelfde complex liggen. Van 3 sluizen waren geen gegevens voorhanden. Dit is aangegeven in onderstaande tabel:

Naam - code	Gegevens
Lorentzsluizen - 10B-001-05	Aanwezig
Lorentzsluizen - 10B-001-06	Aanwezig
Stevinsluizen - 14E-001-01	Aanwezig
IJmuiden sluizen - 25A-001-01	Aanwezig
Zuidersluis - 31H-006-01	Aanwezig
Noordersluis - 31H-007-01	Aanwezig
Noordersluis - 31H-007-02	Aanwezig
Sluis bij Den Hommel - 31H-354-01	Aanwezig
Gemaal, sluis en brug Vleutense Wetering - 31H-356-01	Aanwezig
Sluiscomplex Delden - 34E-001-01	Aanwezig
Sluiscomplex Hengelo - 34F-001-01	Aanwezig
Prs. Beatrixsluis - 38F-352-01	Aanwezig
Prs. Beatrixsluis - 38F-352-02	Aanwezig
Prs. Marijkesluis - 39B-001-01	Aanwezig
Prs. Irenesluis - 39B-002-02	Aanwezig
Prs. Marijkesluis - 39B-001-02	Aanwezig
Sluiscomplex Weurt - 40C-004-02	Aanwezig
Sluiscomplex St. Andries - 45B-001-01	Aanwezig
Prinses Maxima sluizen - 45B-351-01	Aanwezig
Sluis - 045D-004-01	Aanwezig
Sluis/stuwcomplex Grave - 45F-001-04	Aanwezig
Sluiscomplex Heumen - 46A-001-01	Aanwezig
Sluis/stuwcomplex Sambeek - 46D-350-01	Aanwezig
Sluis IV - 51A-002-01	Aanwezig
Sluis V - 51E-002-02	Aanwezig
Sluis 16 - 57H-001-01	Aanwezig
Sluis 15 - 58A-002-01	Aanwezig

Naam - code	Gegevens
Noordervaart (sluis Hulsen) - 58A-351-01	Aanwezig
Sluis Panheel - 58C-001-01	Aanwezig
Sluiscomplex Linne - 58D-002-01	Aanwezig
Sluis/stuwcomplex Roermond - 58D-350-01	Aanwezig
Sluis/stuwcomplex Belfeld - 58E-350-01	Aanwezig
Sluiscomplex Born - 60A-001-06	Aanwezig
Sluiscomplex Limmel - 61F-001-01	Aanwezig
Sluiscomplex Limmel - 61F-001-02	Aanwezig
Sluiscomplex Bosscheveld - 61F-002-01	Aanwezig
Sluis/stuwcomplex Borgharen - 61F-004-02	Aanwezig
Sluiscomplex Eefde - 33F-001-01	Aanwezig
Prs. BeatrixsluisPrinses Beatrixsluis	Gegevens van complex
Delden	Gegevens van complex
Eefde	Gegevens van complex
IJmuiden sluizenZeesluis IJmuiden	Gegevens van complex
Volkeraksluizen	Gegevens van complex
Terneuzen	Gegevens van complex
Meppelerdiep	Gegevens van complex
Wilhelminasluis	Gegevens van complex
Kreekraksluizen	Gegevens van complex
Krammersluizen	Gegevens van complex
Hansweert	Gegevens van complex
Weurt	Gegevens van complex
Prinses Margrietsluis	Geen gegegevens
Gaarkeuken	Geen gegegevens
Oostersluis	Geen gegegevens

BIJLAGE B. BEPALING SLUISCONFIGURATIES

B.1 Bepaling sluisconfiguraties

Bij de inschatting van de percentielen voor de Roger Cooke methode is ervoor gekozen dit te laten doen voor 4 verschillende sluisconfiguraties. Dit zijn niet bestaande sluizen die moeten dienen als mentaal denkmodel om zo een goede inschatting van de percentielen te kunnen geven. Deze sluisconfiguratie zijn dan wel niet bestaand maar wel gebaseerd op de 53 sluizen die binnen het project Multi Water Werken vallen. Hoe deze sluisconfiguraties zijn bepaald, wordt in deze bijlage beschreven.

B.1.1 Doel

Het aantal te vervangen/renoveren sluizen betreft 53. Omdat het beschouwen van 53 individuele sluizen (te) tijdrovend is en bovendien het doel (van o.a. standaardisatie) voorbij schiet, is ervoor gekozen een set van (4 tot 8) representatieve sluizen te definiëren. Deze set van sluizen moeten zo de 53 sluizen representeren. Het doel van dit hoofdstuk is te komen tot deze set van representatieve sluizen.

B.2 Input en aanpak

B.1.2 Input

- Data: vanuit verschillende projecten hebben we informatie verzameld betreffende:
  - Project RINK: kenmerken sluizen/stuwen, RA-resultaten sluizen/stuwen
  - Project Infraquest: kenmerken objecten
  - Project VONK: kenmerken alle natte objecten, gegevens van alle natte objecten uit DISK

  Deze data zijn samengevoegd tot één tabel. In deze tabel staan voor 49 sluizen 72 kenmerken in meer of mindere mate ingevuld. Zie ook Bijlage A waarin deze tabel is opgenomen.
- Experts: dit betreft een team van specialisten uit onze eigen organisatie die stuk voor stuk veel kennis en ervaring hebben met sluizen, en in het bijzonder gespecialiseerd zijn op respectievelijk NEN-decompositie & instandhouding, bouwkosten & bouwtijd, civiel & geotechniek, staal & werktuigbouw, bediening, besturing & energie (BBE) en betrouwbaarheid & beschikbaarheid.

B.1.3 Aanpak

De gevolgde aanpak om te komen tot de sluisconfiguraties bestaat uit de volgende stappen:

Stap 1: Bepalen sluiskarakteristieken

a. Data-analyse:
   De lijst van 72 kenmerken is aan de hand van 3 besliscriteria teruggebracht naar in totaal 5 karakteristieken op basis waarvan de sluisconfiguraties bepaald kunnen worden. Het betreft de volgende besliscriteria:
   1. Is het kenmerk een, door de wet, omgeving of gebruiksbehoefte opgelegde, randvoorwaarde of is hierin nog ontwerpvrijheid mogelijk? Indien dit het geval is dan wordt dit kenmerk meegenomen bij de sluisconfiguraties.

2. Met behulp van geavanceerde statistische technieken zijn de kenmerken die zijn overgebleven na stap 1 geanalyseerd op statistische verbanden. Indien dit het geval is, zullen deze gecombineerd in de sluisconfiguraties worden opgenomen. Indien er geen sprake is van significante correlatie, kunnen de karakteristieken 'los' worden toegevoegd aan de configuratie(s).
3. Zijn er kenmerken logischerwijs samen te voegen?

In de tabel in Bijlage C is deze afweging opgenomen.

b. Expertmeningen: De lijst uit stap 1a wordt aangevuld met karakteristieken die zijn verkregen o.b.v. expertmeningen.
De input per discipline is verkregen door het consulteren van onze discipline-specialisten. De volgende disciplines zijn daarbij doorlopen:
   - Civiele bouw (beton- en geotechniek)
   - Staalbouw
   - Werktuigbouw
   - Bediening, besturing en elektrotechniek (BBE)

   Daarnaast is ook input geleverd door onze kostendeskundige en RA-specialisten. De uitwerking van deze stap is te vinden in Bijlage C.

Stap 2: Bepalen sluisconfiguraties o.b.v. van de sluiskarakteristieken uit stap 1
De genoemde karakteristieken zijn samengevoegd tot enkele unieke sluisconfiguraties. De uitwerking van deze stap is te vinden in §B.4.

B.3 Sluiskarakteristieken

Uit de gevolgde aanpak van §B.2 volgen de karakteristieken in Tabel 5-6. Achter elke karakteristiek staat weergeven waarom deze karakteristiek is opgenomen.

Tabel 5-6: Sluiskarakteristieken

Karakteristiek	Toelichting	Volgt uit
Kolkgrootte	Dit zijn de afmetingen van de sluis, te weten de lengte van de kolk, de breedte van de kolk en de diepgang van de sluis (o.a. hoogte drempel).	Data-analyse Expertmeningen
Maximaal verval	Het maximale verval dat de sluis moet kunnen keren.	Data-analyse Expertmeningen
Negatief verval	Moet de sluis negatief verval kunnen keren?	Data-analyse Expertmeningen
Aantal schuttingen	Het aantal schuttingen op jaarbasis.	Data-analyse Expertmeningen
Klimaat	Bevindt de sluis zich in een zoet- of zoutwater omgeving.	Data-analyse Expertmeningen
Ondergrond	Homogene of heterogene grondkarakteristieken en mate van permeabiliteit	Expertmeningen

B.4 Sluisconfiguraties

De sluisconfiguraties zijn vastgesteld op basis van de volgende uitgangspunten:

- Indien de te combineren karakteristieken geen relatie met elkaar hebben (zie stap 1a) dan is er geen reden deze gecombineerd in de sluisconfiguraties op te nemen. Dan volstaat het om de sluisconfiguraties zodanig te kiezen dat alle opties per karakteristiek eenmaal voor komen.
- Er wordt gekozen steeds per karakteristiek te kiezen voor twee opties. Deze keuze maakt het mogelijk het aantal configuraties te beperken. Bovendien verwachten we dat het aantal relevante combinaties van zes karakteristieken met elk twee opties voldoende houvast biedt voor de experts bij het geven van de schattingen.

De karakteristieken die worden meegenomen volgen uit §B.3. In Tabel 5-7 staat steeds per karakteristiek aangegeven welke twee opties er worden meegenomen en de toelichting.

Tabel 5-7: Opties per sluiskarakteristiek

Karakteristiek	Opties	Toelichting
Kolkgrootte (l x b)	100m x 15m / 200m x 30m	Afmetingen op basis van database sluizen (zie Bijlage A) en afmetingen CEMT-klasse Breedte afhankelijk van deurkeuze. Bij een breedte van > 30 m is bij tweezijdig keren een puntdeur bijvoorbeeld niet mogelijk[5].
Maximaal verval	Klein / Groot	De mate waarin maximaal verval van invloed is hangt af van de grootte van de deur. Deze hangt af van de kolkbreedte. Om die reden is gekozen van een relatieve maat ‘klein / groot’ uit te gaan.
Negatief verval	Nee / Ja	Omdat de vraag of de keermiddelen ‘tweezijdig kerend’ moeten zijn maatgevend is ten opzichte van de mate van negatief verval, is gekozen uit te gaan van slechts twee opties, namelijk er is wel of geen negatief verval. Uit de database sluizen (zie Bijlage A) blijkt dat beide opties voorkomen bij de 53 sluizen.
Aantal schuttingen [-/jaar]	<9.000 / ≥9.000	Hierbij is gekozen de grens te leggen op het gemiddelde van het aantal schuttingen die volgen uit de database sluizen (zie Bijlage A).
Klimaat	Zoet / Zout	Hier zijn maar twee opties mogelijk namelijk zoet of zout. Uit de database sluizen (zie Bijlage A) blijkt dat beide opties voorkomen bij de 53 sluizen.
Ondergrond	Homogeen / Heterogeen Slechte doorlatendheid (k<0,1) / Goede doorlatendheid (k>1)	Er is voorlopig gekozen voor twee variabelen met elk twee opties. Dit wordt in PvA 3.0 nader uitgewerkt (zie ook Bijlage C).

Tussen de bovenstaande karakteristieken is één significante relatie te vinden en dat is de relatie tussen kolkgrootte en klimaat. Het is gebleken dat naarmate de sluis groter is dit sluizen zijn in een

[5] Bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Bouwdienst Rijkswaterstaat: *Ontwerp van schutsluizen*, 2000.

zoute omgeving. Daarom is de optie van de grootste kolk altijd gecombineerd met een zout klimaat.
De overige karakteristieken zijn dus onafhankelijk van elkaar en zijn dan ook willekeurig met elkaar gecombineerd.

Dit leidt tot de volgende configuraties:

Tabel 5-8: Sluisconfiguraties

Karakteristiek	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Configuratie 4
Kolkgrootte (l x b)	100m x 15m	100m x 15m	200m x 25m	200 x 25m
Maximaal verval	<5m	≥5m	<5m	≥5m
Negatief verval	Nee	Ja	Nee	Ja
Aantal schuttingen [-/jaar]	<9.000	≥9.000	<9.000	≥9.000
Klimaat	Zoet	Zoet	Zout	Zout
Ondergrond	Homogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)	Heterogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Homogene ondergrond Goede doorlatendheid (k>1)	Heterogene ondergrond Slechte doorlatendheid (k<0,1)

BIJLAGE C. UITWERKING BEPALING SLUISKARAKTERISTIEKEN

Stap 1a:
In onderstaande tabel is staat 1a uitgewerkt. Hierin worden de 72 verschillende sluiskenmerken uit de sluizendatabase teruggebracht tot 5 karakteristieken a.d.h.v. 3 besliscriteria.
.

#	Kenmerk	Rvw ja/nee	Toelichting	Is er een statistisch verband ja/nee	Toelichting	Is de karakteristiek samen te voegen ja/nee	Toelichting	Karakteristiek
1	Stichtings jaar object	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
2	Jaar van laatste renovatie / vast onderhoud / variabel onderhoud aan het object	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
3	DISK conditite score / KW Kwaliteit	nee	Geen technisch karakteristiek	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
4	Laatst uitgevoerde inspectie	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
5	CEMT klasse huidig (I- VI)	ja	Is gegeven waaraan ontwerp moet voldoen	ja	Er is een verband tussen 'CEMT klasse' en 'breedte kolk' en 'lengte kolk': Als de CEMT-klasse toeneemt nemen de afmetingen van de sluis uiteraard ook toe.	ja	Gezien het verband tussen CEMT-klasse en afmetingen van de sluis kunnen de karakteristieken 'CEMT klasse', 'lengte kolk' en 'breedte kolk' worden samengevoegd tot de karakteristiek 'kolkgrootte'.	Kolkgrootte
6	CEMT klasse ontwerp (I-VI)	ja	Is gegeven waaraan ontwerp moet voldoen	ja	Er is een verband tussen 'CEMT klasse' en 'breedte kolk' en 'lengte kolk': Als de CEMT-klasse toeneemt nemen de afmetingen van de sluis uiteraard ook toe.	ja	Gezien het verband tussen CEMT-klasse en afmetingen van de sluis kunnen de karakteristieken 'CEMT klasse', 'lengte kolk' en 'breedte kolk' worden samengevoegd tot de karakteristiek 'kolkgrootte'.	Kolkgrootte
7a	Lengte kolk (in sommige gevallen incl. hoofden)	ja	Zit wel ontwerpvrijheid in maar o.a. CEMT-klasse en capaciteit bepalen afmetingen	ja	Er is een verband tussen 'CEMT klasse' en 'breedte kolk' en 'lengte kolk': Als de CEMT-klasse toeneemt nemen de afmetingen van de sluis uiteraard ook toe. Er is een verband tussen 'lengte kolk' en 'breedte kolk': langere sluizen hebben ook bredere kolken.	ja	Gezien het verband tussen CEMT-klasse en afmetingen van de sluis kunnen de karakteristieken 'CEMT klasse', 'lengte kolk' en 'breedte kolk' worden samengevoegd tot de karakteristiek 'kolkgrootte'.	Kolkgrootte
7b	Breedte kolk	ja	Zit wel ontwerpvrijheid in maar o.a. CEMT-klasse en capaciteit bepalen afmetingen	ja	Er is een verband tussen 'CEMT klasse' en 'breedte kolk' en 'lengte kolk': Als de CEMT-klasse toeneemt nemen de afmetingen van de sluis uiteraard ook toe. Er is een verband tussen 'lengte kolk' en 'breedte kolk': langere sluizen hebben ook bredere kolken.	ja	Gezien het verband tussen CEMT-klasse en afmetingen van de sluis kunnen de karakteristieken 'CEMT klasse', 'lengte kolk' en 'breedte kolk' worden samengevoegd tot de karakteristiek 'kolkgrootte'.	Kolkgrootte
8a	Nuttige schutlengte	ja	Zit wel ontwerpvrijheid in maar o.a. CEMT-klasse en capaciteit bepalen afmetingen	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	ja	Zie 'lengte kolk'	Kolkgrootte
8b	Nuttige schutbreedte	ja	Zit wel ontwerpvrijheid in maar o.a. CEMT-klasse en capaciteit bepalen afmetingen	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	ja	Zie 'breedte kolk'	Kolkgrootte
9	Geldt er een diepgang beperking voor maat gevende schepen?	ja	Beperking gaat over huidige situatie dus geen karakteristiek. Diepgang op zich zelf is echter wel een karkateristiek.	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond. Punt is wel dat het hier gaat om een diepgang beperking en niet over de karakeristiek 'diepgang'. Deze zou logischerwijze een verband kunnen hebben met de CEMT-klasse.	ja	Er wordt voor gekozen om deze samen te voegen in de karakteristiek 'kolkgrootte'.	Kolkgrootte
10	Gemiddeld verval over de deur tijdens het schutten (streefpeilen)	ja	Is een fysische omstandigheid dus moet ontwerp aan voldoen	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	ja	Gemiddeld verval' is qua belastingen ondergeschikt aan maximaal verval en wordt dus samengevoegd met 'maximaal verval'.	Maximaal verval

#	Kenmerk	Rvw ja/nee	Toelichting	Is er een statistisch verband ja/nee	Toelichting	Is de karakteristiek samen te voegen ja/nee	Toelichting	Karakteristiek
11	Maximaal verval over deur tijdens schutten	ja	Is een fysische omstandigheid dus moet ontwerp aan voldoen	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	ja	Gemiddeld verval' is qua belastingen ondergeschikt aan maximaal verval en wordt dus samengevoegd met 'maximaal verval'.	Maximaal verval
12	Negatief verval over de deuren mogelijk?	ja	Is een fysische omstandigheid dus moet ontwerp aan voldoen	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	nee	Is niet samen te voegen.	Negatief verval
13a	Aantal schuttingen per jaar	ja	Is een opgave waar de sluis aan moet voldoen dus geen ontwerpvrijheid	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	nee	Is niet samen te voegen.	Aantal schuttingen
13b	Aantal schuttingen per jaar	ja	Is een opgave waar de sluis aan moet voldoen dus geen ontwerpvrijheid	nee	Geen statistisch verband met een andere karakteristiek aangetoond.	nee	Is niet samen te voegen.	Aantal schuttingen
14	Tussenhoofd aanwezig	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
15	Is er een protocol voor getrapt schutten bij hoog water (enkel toepasbaar op kolken met een tussenhoofd)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
16	Redundantie complex : aantal kolken met zelfde CEMT klasse	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
17	Klimaat	ja	Is een fysische omstandigheid dus moet ontwerp aan voldoen	ja	Er is een verband tussen 'klimaat' en 'breedte kolk': Sluizen die zich in een 'zout' klimaar bevinden hebben bredere kolken.	nee	Is niet samen te voegen.	Klimaat
18	Wijzigingen in waterstanden tov ontwerp (incl gws)	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
19	Aanpassingen in de constructie sinds bouw? (zoals verlenging kolk)	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
20	Geteste en inzetbare noodstroomvoorziening aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
21	Schutten mogelijk op noodstroomvoorziening?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
22	Bliksem beveiliging aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
23	Brandblus installatie aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
24 a	Onderloops heidscherm aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
24 b	Achterloopsheidscherm aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
24 c	Kwelschermaanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
26	Aantal aanvaringen? (opnemen per IH onderdeel anders niet informatief)	nee	Overkomt je is geen randvoorwaarde	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
27	Type sluisdeur	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
28	Materiaal Deur	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
29	Ontwerplevensduur deuren	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
30	Leeftijd deuren	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
31	Laatste jaar van renovatie / groot onderhouddeuren	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
32	Type renovatie	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
33	Inzetbare reservedeuren aanwezig	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
34	Frequentie van deurwissel	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-

#	Kenmerk	Rvw ja/nee	Toelichting	Is er een statistisch verband ja/nee	Toelichting	Is de karakteristiek samen te voegen ja/nee	Toelichting	Karakteristiek
35	Uitvoeringswijze van draaipunten puntdeuren	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
36	Lekkage geconstateerd	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
37	Vermoeiingsscore	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
38	Type bewegings werk (deuren)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
39	Leeftijd bewegingswerk	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
40	Beschikbaarheid inzetbare reservedelen (cilinders EH, nog meer specifieke delen te benoemen voor bew.werk?)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
41	Laatste jaar van renovatie /groot onderhoudbew.werk	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
42	Type renovatie	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
42	Type renovatie	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
43	Aanwezigheid Panamawiel	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
44	Bevestiging cilinder volgens cardan	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
45	Tandwiel kast van voor 1980	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
45	Tandwiel kast van voor 1980	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
46	Werkende/beschikbare onderhoudsvoorzieningen	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
47	Type kolk	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
48	Fundering kolk	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
48	Fundering kolk	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
49	Materiaal sluiskolkwand	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
50	Materiaal sluiskolkvloer	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
51	Betondruksterkte kolk	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
52	Type sluishoofd	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
52a	Materiaal vloer sluishoofd	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
52b	Materiaal wand sluishoofd	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
53	Fundering sluishoofden	nee	Is een ontwerpkeuze maar wel afhankelijk van ondergrond	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
54	Leeftijd Sluishoofden	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
55	Betondruksterkte sluishoofd	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
56	Type bediening (PLC/relais)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
57	Bediening lokaal/afstand	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
58	Toekomstige bediening BoA?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
59	Leeftijd bediening	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
60	Laatste jaar van renovatie / groot onderhoud bediening	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
61	Inzetbare reserveonderdelen beschikbaar (bijv PLCs) nog andere relevante onderdelen?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-

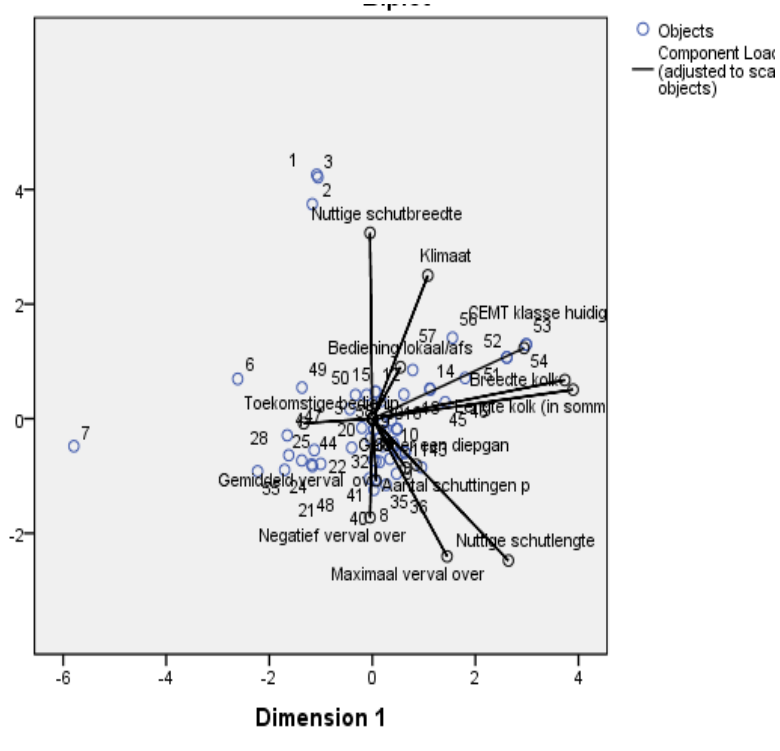
#	Kenmerk	Rvw ja/nee	Toelichting	Is er een statistisch verband ja/nee	Toelichting	Is de karakteristiek samen te voegen ja/nee	Toelichting	Karakteristiek
62	Noodbediening op locatie aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
63	Materiaal bodembescherming	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
63	Materiaal bodembescherming	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
63 a	Materiaal bodembescherming - ontvangbed (BOHFD)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
63 b	Materiaal bodembescherming - stortebed (BEHFD)	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
64	Leeftijd bodembescherming	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
65	Jaar van laatste renovatie bodembescherming	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
66	Wordt bodem bescherming gemonitord	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
67	Insluitings- constructie bodembescherming aanwezig?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
68	Nivelleer wijze	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
69	Nivelleren redundant?	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
70	Niveaumeetinstallatie aanwezig	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
71	Type niveaumeetinstallatie	nee	Is een ontwerpkeuze	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-
72	Leeftijd niveaumeetinstallatie	nee	Vervalt bij renovatie/vervanging	n.v.t.	-	n.v.t.	-	-

Uitwerking bepaling statische verbanden:

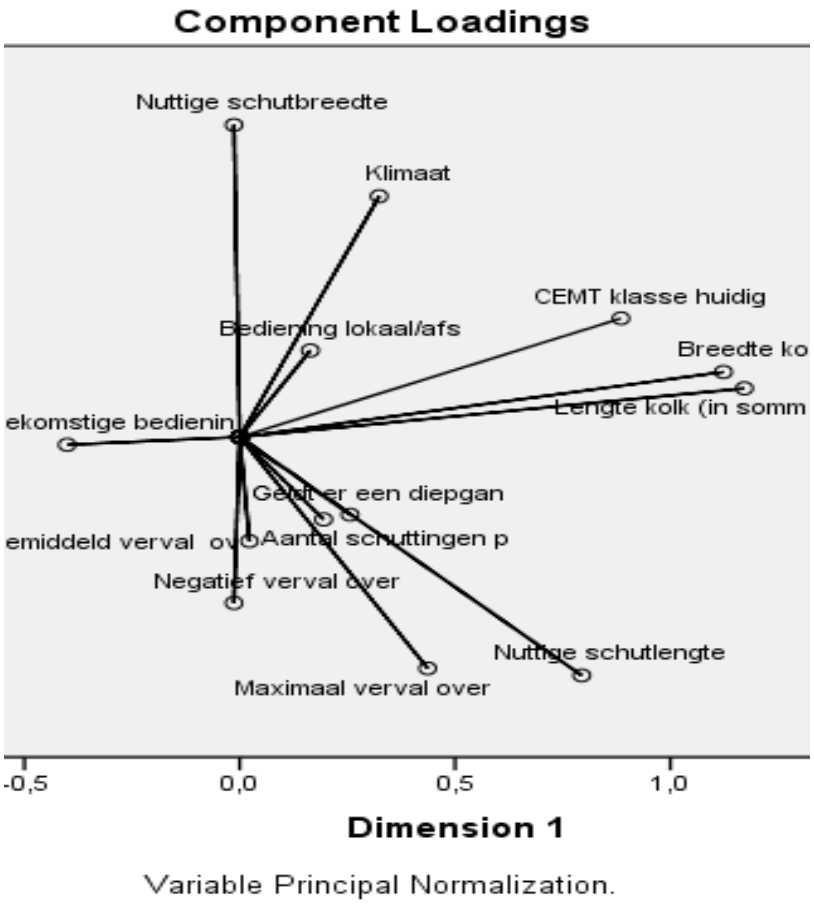
Voor het tweede besliscriterium is gekeken of er kenmerken waren die statistisch gezien een verband hadden met elkaar. In onderstaande tekst wordt deze analyse nader toegelicht.

De data zijn geanalyseerd en hieruit bleek dat zowel sommige karakteristieken als sommige onderdelen met elkaar geassocieerd zijn. De data zijn zowel numeriek als categoriaal. Voor de associatie tussen numerieke data is de Pearson correlatiecoëfficiënt gebruikt om de associatie in kaart te brengen. Voor de associatie tussen sluiskarakteristieken is gebruik gemaakt van Principale Component Analyse mits hier voldoende variantie aanwezig was. Voor categoriale data gerelateerd aan de sluiselementen, die wat minder variantie hebben, is gebruik gemaakt van Fisher's exact test. Er is getracht de relatie tussen categoriale data en numerieke data in kaart te brengen met multinomiale logistieke regressie maar hieruit kwamen zeer onbetrouwbare resultaten omdat de *statistical power* tamelijk gering is. Dit wordt veroorzaakt door relatief weinig observaties per classificatie.

In Figuur 27 is te zien hoe de onderliggende correlaties tussen sluiskarakteristieken zich verhouden. Het blijkt dat de CEMT klasse, breedte kolk, lengte kolk sterk onderling zijn gecorreleerd. Indien er dimensiereductie toegepast wordt, zal een positieve eerste dimensie vooral zijn gerelateerd aan breedte, lengte en CEMT klasse omdat deze elementen sterk laden op de eerste dimensie. De afwezigheid van een diepgang beperking, negatief verval, maximaal verval en nuttige schutlengte zijn weer onderling tamelijk gecorreleerd. De overige factoren zijn onduidelijk. In Figuur 26 is het biplot te zien van de principale component scores en de principale component ladingen. Deze scores duiden aan hoe individuele sluizen zich verhouden tot de eerste en tweede dimensie. Een sluis met een hele grote score op de eerste dimensie is naar verwachting ook een vrij grote sluis.



Figuur 26: Biplot karakteristieken categoriale principale component analyse



Figuur 27: Component ladingen op de eerste en tweede dimensie karakteristieken

Stap 1b:
In deze stap is de experts gevraagd aan te geven welke karakteristieken van een sluis bepalend zijn voor het ontwerp maar waar zij geen invloed op hebben. Kortom welke randvoorwaarden er zijn.
Naast de karakteristieken die volgden uit de database van de 53 sluizen kwamen de experts nog met 1 andere belangrijke randvoorwaarde. Dit betrof ‘de ondergrond’. In deze karakteristiek zijn zeer veel variabelen vervat. Het gaat dan onder andere om:

- Opbouw bodem
- Grondwaterstand
- Hoe homogeen is de bodemopbouw
- Diepte zandlaag
- Waterdoorlatende laag

Kortom ‘ondergrond’ is een verzamelnaam van alles wat zich in de bodem bevindt en invloed heeft op de aanleg van een sluis. In PvA 3.0 zal nader worden bepaald hoe ‘de ondergrond’ als karakteristiek zal worden verwerkt in de sluisconfiguratie en wellicht ook in de sluiselementen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan sluiskarakteristieken als een homogene ondergrond en waterdoorlaatbare laag. Om een en ander goed te verwerken zal hiervoor gebruik worden gemaakt van de kennis van onze specialisten geotechniek.

BIJLAGE D. UITWERKING BEPALING SLUISELEMENTEN

Export uit NEN2767-4-2
Beheerobject Schutsluizen

Stap 1a					Stap 1b	Stap 1c
Onderdeelnaam	**noodzakelijk voor hoofdfuncties van sluis**	**vrijheid binnen wetten/ normen of richtlijnen**	**voldoende invloed op doelen**	**toelichting**	**Nader detaillering** (1e uitwerking)	**Discipline**
Aandrijving en bewegingswerk, elektrohydraulisch	ja	ja	ja	Aandrijving en bewegingswerk is een belangrijk onderdeel, met invloed op buwkosten en beschikbaarheid en betrouwbaarheid	3 typen (EM, EH, M) 3 typen deur (rol, punt, hef) 2 typen nivellering (omloop, deur)	Werktuigbouw
Aandrijving en bewegingswerk, elektromechanisch	ja	ja	ja	Aandrijving en bewegingswerk is een belangrijk onderdeel, met invloed op buwkosten en beschikbaarheid en betrouwbaarheid	3 typen (EM, HM, M) 3 typen deur (rol, punt, hef) 2 typen nivellering (omloop, deur)	Werktuigbouw
Aandrijving en bewegingswerk; mechanisch	ja	ja	ja	Aandrijving en bewegingswerk is een belangrijk onderdeel, met invloed op buwkosten en beschikbaarheid en betrouwbaarheid	3 typen (EM, HM, M) 3 typen deur (rol, punt, hef) 2 typen nivellering (omloop, deur)	Werktuigbouw
Aarding- en bliksembeveiligingsinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Afmeervoorziening	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Afmeervoorziening	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Afsluitboominstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bebording/bewegwijzering (statisch)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bedienings- en besturingssysteem	ja	ja	ja	bediening en besturing hebben invloed op beschikbaarheid en betrouwbaarheid	2 typen (Lokaal, op afstand)	Bediening, besturing en elektrotechniek
Binnenverlichting	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Bodembescherming	ja	ja	ja	bodembescherming heeft invloed op (onzekerheid in) bouwtijd en bouwkosten en onderhoudskosten (LCC)	Geen verdere detaillering	Waterbouw
Bodembescherming	ja	ja	ja	idem	Geen verdere detaillering	Waterbouw
Brandblussysteem	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Brandblussysteem	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Brandmeld- en ontruimingsinstallatie (BMI)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Closed Circuit TeleVision installatie (CCTV installatie)	ja	ja	ja	in het geval van bediening op afstand, is CCTV een factor, echter wel samenvoegen met bedienings- en besturingssysteem	Geen verdere detaillering	Bediening, besturing en elektrotechniek
Closed Circuit TeleVision installatie (CCTV installatie)	ja	ja	ja	idem	Geen verdere detaillering	Bediening, besturing en elektrotechniek
Compressorinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Debietmeetinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Debietmeetinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Drainage	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Drainage	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Drainage	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Drainage	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Duurzame energiebron	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Dynamische bewegwijzering en informatie systemen	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Dynamische bewegwijzering en informatie systemen	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Erf	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Faunadekking	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Fundering	ja	ja	ja	fundering is afhankelijk van de ondergrond en van invloed op (onzekerheid in) bouwtijd en -kosten	2 type fundering (palen, op staal) onderdelen (palen, vloer) type palen (trek, buis , druk)	Civiele bouw

Stap 1a					Stap 1b	Stap 1c
Onderdeelnaam	**noodzakelijk voor hoofdfuncties van sluis**	**vrijheid binnen wetten/ normen of richtlijnen**	**voldoende invloed op doelen**	**toelichting**	**Nader detaillering** (1e uitwerking)	**Discipline**
Fundering	ja	ja	ja	idem	2 type fundering (palen, op staal) onderdelen (palen, vloer) type palen (trek, buis , druk)	Civiele bouw
Geleideconstructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Geleideconstructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Geleideconstructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Grendelinrichting	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen	Geen verdere detaillering	Werktuigbouw
Heftoren	ja	ja	ja	Heftoren is van invloed op (onzekerheid van) bouwkosten, bouwtijd en onderhoudskosten	Geen verdere detaillering	Civiele bouw
Hemelwaterafvoer (HWA)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Hemelwaterafvoer (HWA)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Hemelwaterafvoer (HWA)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Hemelwaterafvoer (HWA)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Hijs- en transportinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Hoofddraaipunt	ja	ja	ja	Hoofddraaipunt is van invloed op (onzekerheid van) bouwkosten, bouwtijd en onderhoudskosten	Elementen wordt in verdere analyse buiten beschouwing gelaten omdat dit element alleen voorkomt bij een puntdeur. En in die zin dus te specifiek is.	
Hoofddraaipunt	ja	ja	ja	idem	Elementen wordt in verdere analyse buiten beschouwing gelaten omdat dit element alleen voorkomt bij een puntdeur. En in die zin dus te specifiek is.	Werktuigbouw
Hoogspanningsinstallatie	ja	ja	ja	hoogspanningsinstallatie is van invloed op onderhoudskosten (LCC) en beschikbaarheid en betrouwbaarheid	Geen verdere detaillering	
Hydro-/meteomeetinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Inbraakbeveiligingsinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Inbraakbeveiligingsinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Informatie en Volgsysteem Scheepvaart 1990 (IVS90)	ja	nee	n.v.t.	geheel conform normen en richtlijnen aan te brengen, hierdoor geen interessante parameter		
Informatie en Volgsysteem Scheepvaart 1990 (IVS90)	ja	nee	n.v.t.	idem		
Inspectiewagen	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Intercominstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Intercominstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kabel	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kabel- en leidingtunnel	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kabeldraagconstructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kathodische beschermінstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kathodische beschermінstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kelder	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kerende constructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Kerende constructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Klimaatinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Laagspanningsinstallatie	ja	ja	ja	laagspanningsinstallatie is van invloed op onderhoudskosten (LCC) en beschikbaarheid en betrouwbaarheid	Geen verdere detaillering	Bediening, besturing en elektrotechniek
Leiding	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Leiding	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Leuning	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Logginsysteem	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Loopbrug	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Mantelbuis	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Mantelbuis	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Marifooninstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		

Stap 1a					Stap 1b	Stap 1c
Onderdeelnaam	**noodzakelijk voor hoofdfuncties van sluis**	**vrijheid binnen wetten/ normen of richtlijnen**	**voldoende invloed op doelen**	**toelichting**	**Nader detaillering** (1e uitwerking)	**Discipline**
Marifooninstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Nautofooninstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Niveaumeetinstallatie	ja	ja	nee	niveaumeetinstallatie is nodig voor schutten maar heeft beperkte invloed op de 3 doelen		
Niveaumeetinstallatie	ja	ja	nee	idem		
Niveaumeetinstallatie	ja	ja	nee	idem		
Noodstroominstallatie, roterend	ja	ja	ja	Aanwezigheid van noodstroom heeft invloed op beschikbaarheid en betrouwbaarheid	Geen verdere detaillering	Bediening, besturing en elektrotechniek
Noodstroominstallatie, statisch	ja	ja	ja	Aanwezigheid van noodstroom heeft invloed op beschikbaarheid en betrouwbaarheid	Geen verdere detaillering	Bediening, besturing en elektrotechniek
Noodstroominstallatie, statisch	ja	ja	ja	idem	Geen verdere detaillering	
Objectverlichting	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Objectverlichting	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Objectverlichting	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Oeverbescherming	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Oeverbescherming	nee	n.v.t.	n.v.t.	idem		
Omroepinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Onderhoudsvoorziening	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Oplegging	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		Staalbouw
Opstal	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Personenzoekinstallatie (PZI)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Pompgebouw	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Pompinstallatie	ja	ja	ja	Indien aanwezig heeft de pompinstallatie invloed op de betrouwbaarheid en beschikbaarheid	Gezien het feit dat een pompinstallatie een ontwerpkeuze is en niet per definitie voorkomt bij elke sluis wordt dit element in deze analyse buiten beschouwing gelaten.	
Pompinstallatie	ja	ja	ja	idem	idem	
Pompkelder	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Radarinstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Reddingsmiddel	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Remming- en/of geleidewerk	ja	ja	ja	Remming- en geleidewerk heeft invloed op de bouwtijd en -kosten	Geen verdere detaillering	Staalbouw
Schampkant	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Scheepvaartdetectie-installatie	ja	nee	n.v.t.	geheel conform normen en richtlijnen aan te brengen, hierdoor geen interessante parameter		
Scheepverkeersbeseining	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Scheepverkeersbeseining	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		Staalbouw
Schuifconstructie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Sluisdeur (hef, punt, rol)	ja	ja	ja	type sluisdeur is een onderscheidend element in de sluis en heeft invloed op alle 3 de doelen	3 typen deur (rol, punt, hef)	Civiele bouw
Sluishoofd	ja	ja	ja	Sluishoofd is een belangrijk onderdeel van de civiele constructie van de sluis en heeft derhalve invloed op bouwtijd en -kosten	3 typen hoofden (rol, punt, hef) Aantal?	Civiele bouw
Sluiskolk	ja	ja	ja	Sluiskolk is een belangrijk onderdeel van de civiele constructie van de sluis en heeft derhalve invloed op bouwtijd en -kosten	Geen verdere detaillering	Civiele bouw
Sluiskolk	ja	ja	ja	idem	Geen verdere detaillering	
Steiger	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Talud	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Talud	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Telefooninstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Telemetriesysteem	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Terreinmeubilair	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Toegangshek	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Tracing	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Transmissie-installatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		

Stap 1a					Stap 1b	Stap 1c
Onderdeelnaam	**noodzakelijk voor hoofdfuncties van sluis**	**vrijheid binnen wetten/ normen of richtlijnen**	**voldoende invloed op doelen**	**toelichting**	**Nader detaillering** (1e uitwerking)	**Discipline**
Vangconstructie t.b.v. scheepvaart	ja	ja	ja	indien van toepassing, van invloed op bouwtijd en -kosten en mogelijk op beschikbaarheid	Geen verdere detaillering	Staalbouw
Verankering	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verankering	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 1, Hoofdwegennet	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 2, Zwaarbelaste weg	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 3, Gemiddeld belaste weg	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 4, Licht belast	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 4, Licht belast	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 5, Weg in woongebied	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 6, Weg in verblijfsgebied	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 6, Weg in verblijfsgebied	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verharding wegtype 7, Fietspaden	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verkeersdetectie-installatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Verkeersregelinstallatie (VRI)	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Vispassage	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Vluchtweginstallatie	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Voegovergang	ja	ja	ja	voegovergangen hebben invloed op de onderhoudbaarheid	Geen verdere detaillering	Civiele bouw
Voegovergang	ja	ja	ja	idem	Geen verdere detaillering	Civiele bouw
Voorzieningen derden	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Werk-spreekverbinding	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		
Zinker	nee	n.v.t.	n.v.t.	geringe invloed op alle 3 de doelen		

BIJLAGE E. LIJST VAN AANWEZIGE EXPERTS

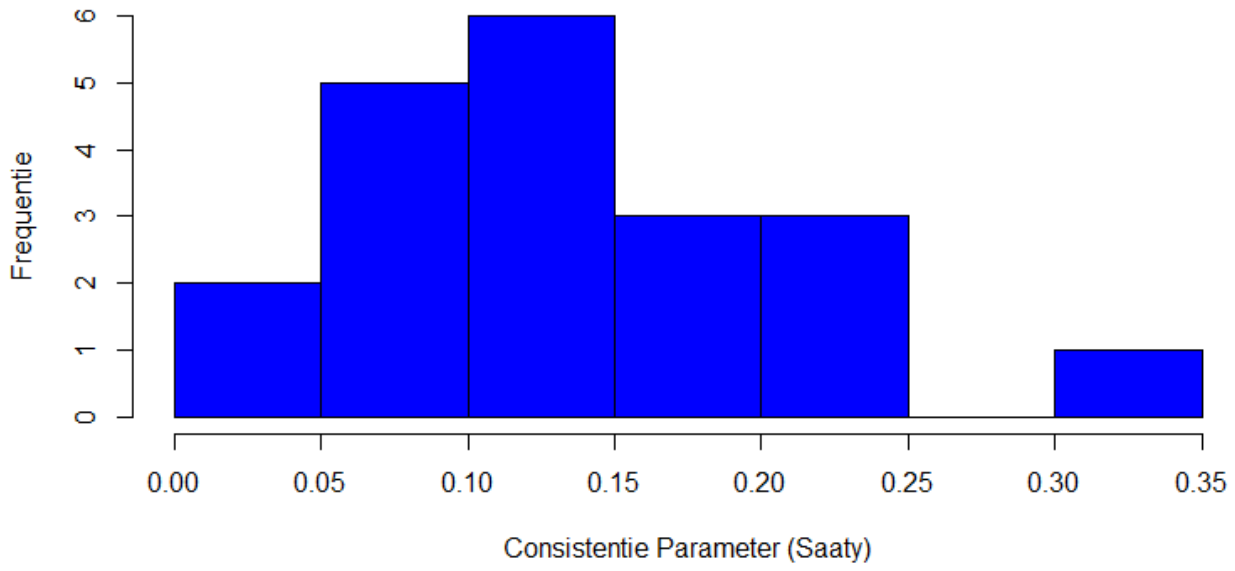
Naam	Bedrijf/Organisatie
Erwin Pechtold	RWS, GPO
Johan den Toom	RWS, GPO
Walter Deelen	Mourik
Roel van Oudheusden	Mourik
Eddy van Haastregt	Van Hattum en Blankevoort
Pieter van Lierop	Iv-Infra
Nardo Hoogendijk	Hollandia Infra
Gerard Bouwman	RWS, GPO
Gerrit Bruggink	RWS, GPO
John Nagtegaal	RWS, GPO
Menno Rikkers	RWS, GPO
Theo Berends	RWS, GPO
Pally Zwierzina	RWS, GPO
Arjan Hijdra	RWS GPO
Daan van der Wiel	Volker InfraDesign
Danny Boer	Spie
Ed van der Blom	Iv-Infra
Jeremy Augustijn	Iv-Infra
Leon Wijnker	RWS, GPO
Jos Schoorlemmer	Jansen Venneboer BV

BIJLAGE F. CONSISTENTIE AHP

De uitkomsten in hoofdstuk 4.2 zijn gebaseerd op de consistent ingevulde matrices. De matrices die inconsistent zijn ingevuld zijn in de verdere analyse niet meegenomen. De inconsistentie wordt bepaald door middel van de inconsistentie parameter. Alle matrices met een inconsistentie parameter groter dan 0,1 worde buiten beschouwing gelaten. Zie voor meer informatie zie §3.3.3. In deze bijlage is per AHP uitkomst de inconsistentie gepresenteerd.

Inconsistentie bijdrage disciplines bouwkosten

De uitkomsten hoofdstuk 4.2 zijn, zoals aangegeven, gebaseerd op de ingevulde consistente matrices. In totaal waren er 7 consistent ingevulde matrices bij deze AHP stap. De overige hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij de aggregatie.
De distributie van de inconsistentie parameter voor verschillende experts is weergeven in Figuur 28. De meeste experts hebben een inconsistentie parameter rond 0.1. Er zijn enkele uitschieters die zeer inconsistent zijn.



Figuur 28: Consistentie parameter bijdrage disciplines bouwkosten

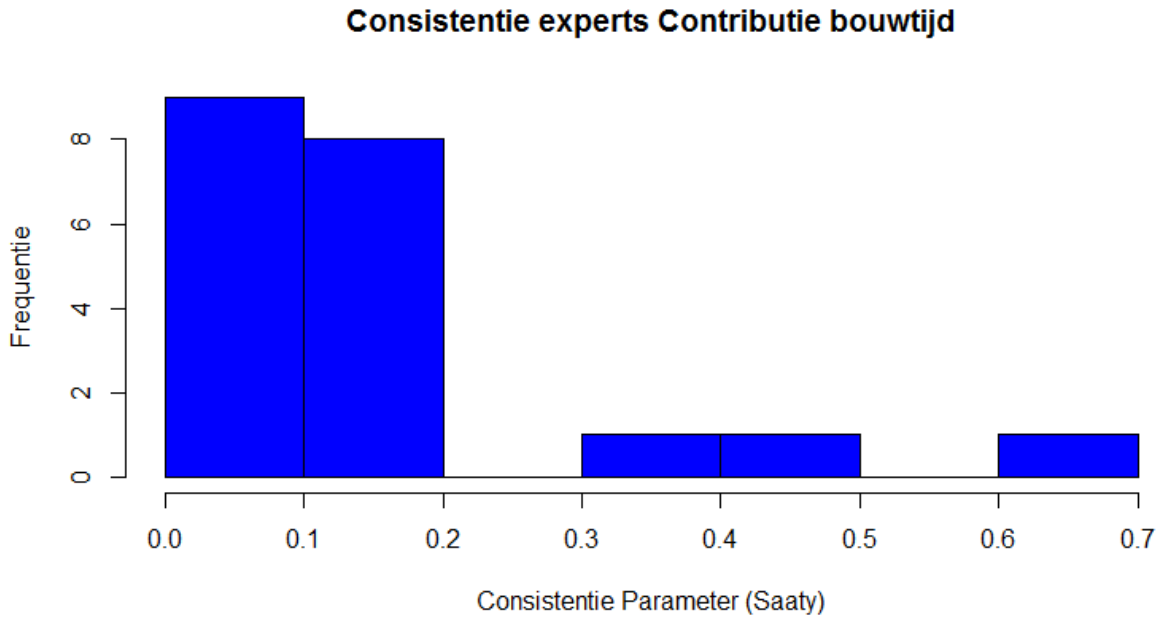
Inconsistentie bijdrage sluiselementen bouwkosten

De uitkomsten van deze AHP-stap zijn gebaseerd op de uitkomsten van 5 experts. De resterende experts hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij de totstandkoming van de uiteindelijke matrix.

Inconsistentie bijdrage disciplines bouwtijd

De uitkomsten van deze AHP-stap zijn gebaseerd op de uitkomsten van 9 experts. De resterende 11 experts hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij totstandkoming van de uiteindelijke matrix. De distributie van de inconsistentie parameter voor verschillende

experts is weergeven in Figuur 29. De meeste experts hebben een inconsistentie parameter rond 0.1. Er zijn enkele uitschieters die zeer inconsistent zijn. In vergelijking met consistentie van de experts bij bouwkosten blijken er wel meer consistente experts zijn.



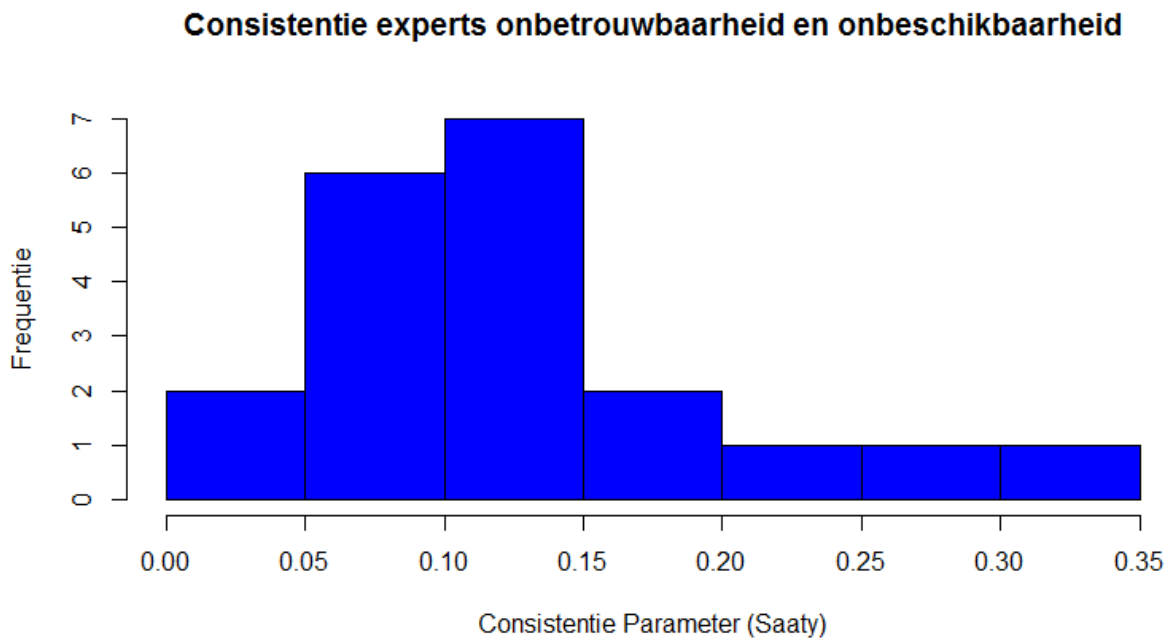
Figuur 29: Consistentie parameter bijdrage disciplines bouwtijd

Inconsistentie bijdrage sluiselementen bouwtijd

De uitkomsten van deze AHP-stap zijn gebaseerd op de uitkomsten van 13 experts. De resterende experts hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij de totstandkoming van de uiteindelijke matrix.

Inconsistentie bijdrage disciplines beschikbaarheid en betrouwbaarheid

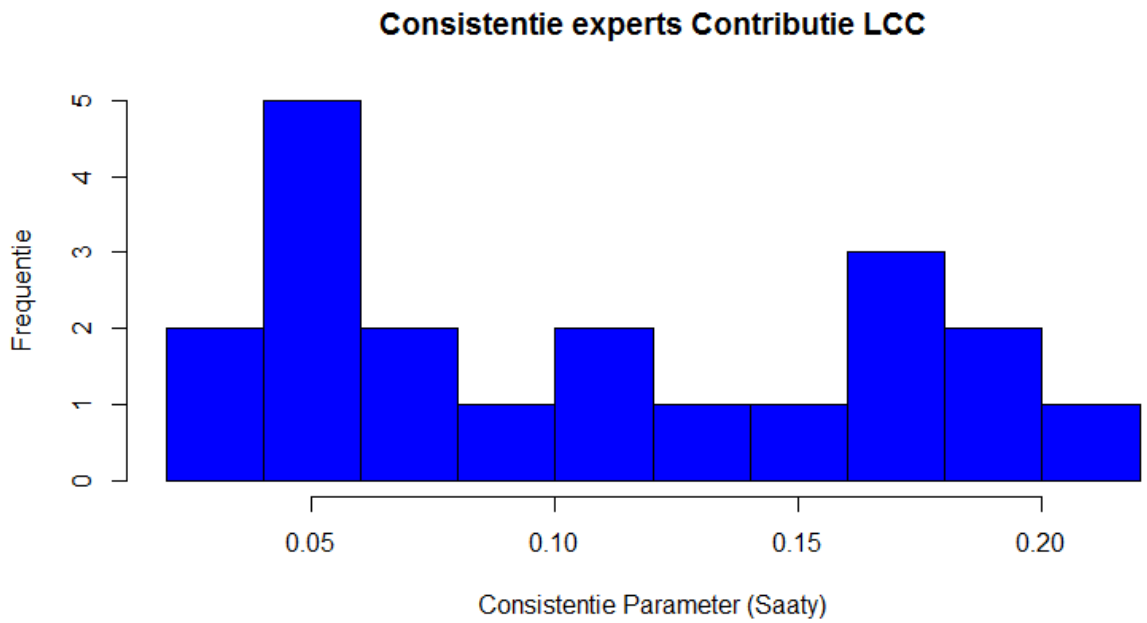
De uitkomsten van deze AHP-stap zijn gebaseerd op de uitkomsten van 8 experts. De resterende 12 experts hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij de totstandkoming van de uiteindelijke matrix. De distributie van de inconsistentie parameter voor verschillende experts is weergeven in Figuur 30. De meeste experts hebben een inconsistentie parameter rond 0.1. Interessant is dat tijdens de sessie enkele fouten zijn opgetreden. Sommige experts hebben hun antwoorden gespiegeld omdat het idee heerste dat ze elementen met elkaar moesten vergelijken qua hun contributie tot beschikbaarheid en betrouwbaarheid i.p.v. hun contributie tot niet-beschikbaarheid en onbetrouwbaarheid. Hiermee is omgegaan door de antwoorden van experts van wie er een redelijk vermoeden bestaat dat ze de vraag incorrect hebben begrepen, te spiegelen.



Figuur 30: Consistentie parameter bijdrage disciplines beschikbaarheid en betrouwbaarheid

Inconsistentie bijdrage disciplines LCC

De uitkomsten van deze AHP-stap zijn gebaseerd op de uitkomsten van 9 experts. De resterende 11 experts hadden een inconsistentie parameter die groter was dan 0.1 en zijn daarom niet meegenomen bij de totstandkoming van de uiteindelijke matrix. De distributie van de inconsistentie parameter voor verschillende experts is weergeven in Figuur 31.



Figuur 31: Consistentie parameter bijdrage disciplines LCC

BIJLAGE G. THEORIE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Theoriebeschrijving

De analytic hierarchy process (AHP) is een methode die identificatie van de belangrijkste factoren betrokken bij het nemen van een beslissing faciliteert (Saaty,1990). Bijvoorbeeld, er zijn drie disciplines die het ontwerp van een sluis beïnvloeden maar het is onbekend hoeveel invloed elke discipline heeft. Het is echter wel mogelijk de disciplines paarsgewijs te vergelijken en te oordelen met behulp van expert oordeel of kwantitatieve analyse hoeveel één discipline belangrijker is dan een andere discipline. De onderlinge vergelijking geschiedt in een matrix $\mathbf{A}$ die hieronder is weergeven (In dit voorbeeld is het een 3×3 matrix). De schaal die veelvuldig wordt toegepast om factoren onderling te vergelijken is de fundamentele schaal van Saaty (Saaty,1990). De Saaty schaalverdeling is weergeven in Tabel 5-9

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

Tabel 5-9 Saaty Schaal (Saaty,1990)

Intensiteit van belangrijkheid op een absolute schaal	Definitie
9	Draagt extreem meer bij aan het gestelde doel
7	Draagt veel meer bij aan het gestelde doel
5	Draagt behoorlijk meer bij aan het gestelde doel
3	Draagt meer bij aan het gestelde doel
1	Draagt evenveel bij aan het gestelde doel
Inverse	In het geval dat activiteit *i* één van de bovenstaande getallen is toegekend wanneer het is vergeleken met activiteit *j* dan zal de activiteit *j* vergeleken met activiteit *i* de inverse van het eerder genoemde getal zijn.

In de bovenstaande matrix zijn er drie factoren zichtbaar die met elkaar worden vergeleken. Uiteraard zullen exact dezelfde factoren wanneer ze met elkaar worden vergeleken gelijkwaardig worden beoordeeld. Dit betekent dat op de diagonaal alleen het getal één mag staan. Het getal 4 in de matrix hieronder voor a_{12} illustreert dat factor 1 een belang heeft die 4 keer hoger is ten opzichte van het belang van factor 2. Uiteraard zijn a_{12} en a_{21} elkaars inverse.

$$\begin{pmatrix} 1 & 4 & a_{13} \\ 1/4 & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

Bepaling van de gewichten & consistentie

Bepaling van de gewichten kan worden beschreven als een eigenwaarde probleem $\mathbf{Aw} = \lambda_{\max}\mathbf{w}$ waarbij de genormaliseerde eigenvector de gewichten bevat van de factoren (Saaty,1990). Er zijn echter ook andere methoden zoals de sommatie methode, geometrisch gemiddelde methode en kleinste kwadraten methode (Gao et al,2009). Hier zal gebruik worden gemaakt van de geometrisch gemiddelde methode. De vergelijking die de methode beschrijft is hieronder weergeven.

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left[\ln a_{ij} - \ln \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \right]^2$$

Consistentie van oordelen kan als volgt worden beschreven. Indien factor 1 twee keer belangrijker is dan factor 2 en factor 2 twee keer belangrijker is dan factor drie dan zal factor 1 uiteraard 4 keer belangrijker moeten zijn dan factor 3. Mensen kunnen bij hun expert oordelen falen uiterst consistent te zijn en dit doet de betrouwbaarheid van de resultaten teniet. Er is in (Saaty,1990) een methode beschreven om de consistentie van een paarsgewijze vergelijking matrix te beoordelen. De methode is gestoeld op het idee dat een consistente matrix met oordelen $\mathbf{A}$ (bijvoorbeeld een 3 × 3 matrix) altijd de vorm zal hebben die hieronder is weergeven. Multiplicatie van de onderstaande matrix met de vector $(w_1 \quad w_2 \quad w_3)^T$ levert het eigenwaarde probleem $\mathbf{Aw} = n\mathbf{w}$ op. Dit is een eigenwaarde probleem met eigenwaarde n. De som van de eigenwaarde van matrix $\mathbf{A}$ is gelijk aan $Tr(\mathbf{A})$ wat betekent dat de resterende eigenwaarden 0 zijn.

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} \end{pmatrix}$$

Bij een niet consistente matrix waarbij in de waarden a_{ij} in de paarsgewijze vergelijking matrix $\mathbf{A}$ storingen zijn opgenomen zal het probleem zich omvormen tot $\mathbf{Aw} = \lambda_{max}\mathbf{w}$ waarbij λ_{max} in de buurt van n is en de resterende eigenwaarden in de buurt van 0 (Saaty,1990). Deze bevinding biedt de gelegenheid de inconsistentie van de matrix te beoordelen door te analyseren hoe ver de gevonden grootste eigenwaarde λ_{max} is van de grootste eigenwaarde die een consistente paarsgewijze vergelijking matrix n zou moeten opleveren.

In de analyse zullen er meerdere matrixen $\mathbf{A}$ betrokken zijn omdat er meerdere experts betrokken zijn bij de paarsgewijze vergelijking analyse. Het geometrisch gemiddelde van de waarderingen van de betrokken experts zal worden genomen.

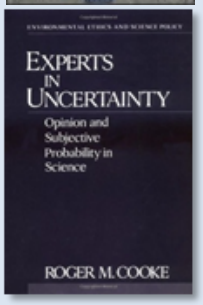
$$\text{compiled_}a_{ij} = \left(\prod_1^k a_{ij} \right)^{\left(\frac{1}{k}\right)}$$

BIJLAGE H. THEORIE ROGER COOKE'S CLASSICAL MODEL

Roger Cooke's Classical Model

Roger Cooke is werkzaam voor het Amerikaanse onderzoeksinstituut *Resources for the Future* (http://www.rff.org), waar hij in 2005 als eerste hoogleraar op de *Chauncey Starr* leerstoel voor Risicoanalyse werd benoemd. Zijn onderzoek heeft wereldwijd de risicoanalyse methodologie beïnvloed, met name op het gebied van *expert judgement* en onzekerheidsanalyse. Hij wordt erkend als een van 's werelds grootste autoriteiten op wiskundige modellering van risico en onzekerheid. Hij is onder meer schrijver van *Procedures Guide for Structured Expert Judgment* voor de Europese Commissie en hij is *lead author* van het hoofdstuk over risico en onzekerheid in het vijfde *Assessment Report* van het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).





Voor zijn aanstelling bij RFF was Cooke jarenlang hoogleraar toegepaste besliskunde aan de faculteit Wiskunde van de Technische Universiteit Delft in Nederland. In deze periode heeft hij het boek "Experts in Uncertainty" geschreven, waarin hij de baanbrekende methode voor het verkrijgen en combineren van expertmeningen, *The Classical Model*, introduceerde.

The Classical Model

Kenmerkend aan het Classical Model is het calibreren van de experts aan de hand van een serie testvragen (seed questions). Dit zijn vragen waarop de werkelijke antwoorden bij de facilitator van de expertsessie bekend zijn en waarop de experts antwoorden moeten geven in de vorm van bandbreedtes (5%-, 50%- en 95%-percentielen). Deze serie testvragen bestaat uit 8 à 10 vragen (meer mag uiteraard ook) over meetbare grootheden (seed variables), die bij voorkeur gerelateerd zijn aan het onderwerp.

De opgegeven 5%-, 50%- en 95%-percentielen gelden als basis voor het opzetten van (cumulatieve) kansverdelingen voor de gevraagde variabelen. Vervolgens worden voor elke expert op basis van hun (cumulatieve) kansverdelingen een zogeheten calibratiescore en een informatiescore berekend. Hoe beter de kansverdelingen van een expert overeenkomen met de mate van accuratesse bij het schatten van de seed variables, hoe hoger zijn calibratiescore. Ter illustratie, bij een perfect gecalibreerde expert op basis van twintig seed questions, ligt exact één werkelijke waarde van de seed variables onder het opgegeven 5%-percentiel, 9 waarden tussen de opgegeven 5%- en 50%-percentielen, nog eens 9 tussen de opgegeven 50%- en 95%-percentielen en tot slot één waarde boven het opgegeven 95%-percentiel.
De informatiescore van een expert wordt bepaald door de mate van extra informatie die hij met de kansverdelingen toevoegt aan de normale of lognormale verdeling. Praktisch gezien komt dit neer op: hoe krapper de bandbreedtes van de expert, hoe hoger de informatiescore.

Aangezien de calibratie- en informatiescore in zekere zin elkaars tegengestelde zijn, brede bandbreedtes leiden immers al snel tot hogere calibratiescores maar leveren lagere informatiescores op en vice versa, leidt

dit tot een zogeheten zuivere scoringsregel (“proper scoring rule”). Dit betekent dat een expert de maximale score krijgt toegekend wanneer hij zijn werkelijke mening geeft, hetgeen de betrouwbaarheid van de methode enorm ten goede komt. In onderstaande Figure 1 is een voorbeeld weergegeven waarbij drie experts hun 5%-, 50%- en 95%-percentielen (gerepresenteerd door de verticale streepjes) hebben opgegeven voor een vijftal variabelen. De werkelijke waarden van de variabelen zijn aangegeven met een x. In dit voorbeeld is expert 1 goed gecalibreerd maar niet of nauwelijks informatief, is expert 2 zeer informatief maar slecht gecalibreerd en behaalt tot slot expert 3 een goede balans tussen calibratie en informatie.

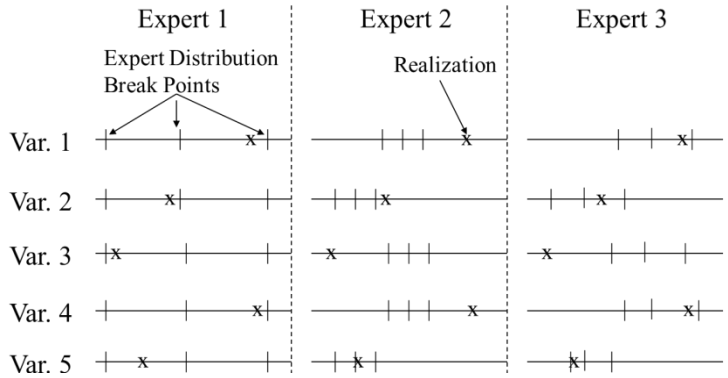


Figure 1 Voorbeeld van goed en minder goed gecalibreerde en informatieve experts

Na het bepalen van de individuele scores per expert zal (eventueel in een aparte sessie) worden overgegaan op het laten schatten van de variabelen, waar we in het kader van het onderzoek naar op zoek zijn. Elke expert geeft opnieuw 5%-, 50%- en 95%-percentielen voor elk van de gevraagde variabelen, waarbij deze per variabele met elkaar worden gecombineerd tot een ‘optimale schatting’ door een gewogen gemiddelde te nemen van de individuele percentielen en hiertussen lineair te interpoleren (zie Figure 2). De gewichten komen overeen met de individuele scores van de experts.

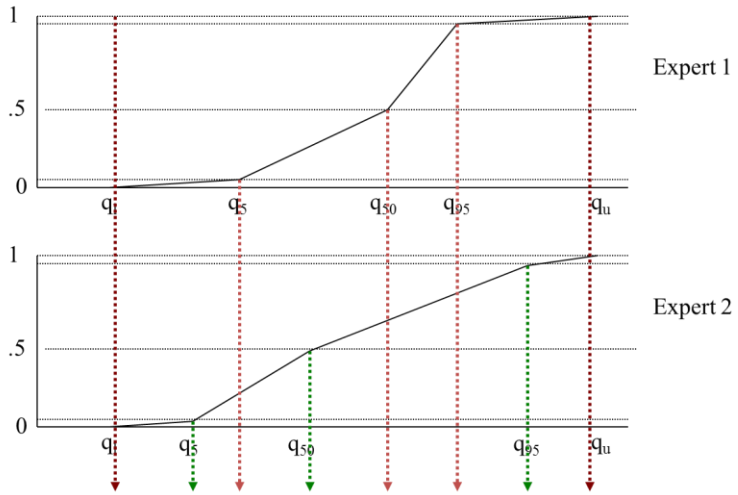


Figure 2 Combineren van individuele cumulatieve kansverdelingen

Op deze manier wordt voor elke onzekere variabele een optimale schatting verkregen in de vorm van een cumulatieve kansverdeling, wat als grote voordelen heeft:

- Aan de hand van de cumulatieve kansverdelingen wordt direct de mate van onzekerheid (rondom bijvoorbeeld bouwkosten en bouwtijd) inzichtelijk.
- De kansverdelingen geven inzicht in zowel de absolute als de relatieve bijdragen aan respectievelijk bouwkosten, bouwtijd, LCC en betrouwbaarheid en beschikbaarheid.
- De kansverdelingen representeren de optimale combinatie van aanwezige kennis bij de bouwers, onderhouders en beheerders.
- De kansverdelingen zijn op wetenschappelijk verantwoorde wijze tot stand gekomen, representeren de werkelijke meningen van de experts en bieden daarmee een betrouwbare basis en (dus) draagvlak voor toepassing binnen MultiWaterWerk.
- De kansverdelingen zijn direct geschikt voor het toepassen in besluitvorming onder onzekerheid, waardoor m.n. de problematiek rondom de grootschalige vervangingen van infrastructuur wordt gekenmerkt.

Toepassing van het Classical Model op dit project

In dit project zullen we, in overleg met RWS, een groep experts samenstellen met 2 of 3 vertegenwoordigers vanuit de bouwers, 2 of 3 vertegenwoordigers vanuit de onderhouders en een vergelijkbare vertegenwoordiging vanuit RWS als beheerder en specialist. We zullen, op basis van onze eigen expertise, literatuuronderzoek en in overleg met RWS (anderen dan de experts) de lijst met testvragen opstellen. Hierbij moet men denken aan vragen als “Wat waren de bouwkosten van de prins Willem Alexander sluizen (onderdeel Oranjesluizen) volgens prijspeil 1995?”, “Hoeveel maanden bedroeg de totale bouwtijd van de Volkeraksluizen ?”, “Hoeveel duizenden euro’s kost een nieuwe hydraulische cilinder van type Y?” en “Hoeveel uren per jaar was de Beatrixsluis gemiddeld niet-beschikbaar in de afgelopen 5 jaar ten gevolge van technische storingen?”. De expertsessie zal worden geleid door onze technisch manager, ir. Arno Willems, die aan de TU Delft is afgestudeerd op deze materie en zich in de 15 jaar na zijn afstuderen verder heeft gespecialiseerd in de toepassingen van dergelijke besliskunde en risico- en onzekerheidsanalyse in de wereld van de (civiele) infrastructuur.

De experts zullen de lijst met testvragen, indien gewenst anoniem, beantwoorden op basis waarvan voor iedere expert een combinatie van calibratie- en informatiescores wordt bepaald. Vervolgens wordt hen gevraagd voor elk van de representatieve sluizen en bijbehorende sluiselementen de omvang te schatten (via 5%-, 50%- en 95%-percentielen) van respectievelijk de bouwkosten, de bouwtijd, LCC (via jaarlijkse vaste onderhoudskosten, de levensduur en de kosten voor vervanging) en de betrouwbaarheid (via de gemiddelde tijd tussen falen (MTBF)) en beschikbaarheid (via de gemiddelde tijd tot reparatie (MTTR) en de gemiddelde duur van niet-beschikbaarheid die nodig is voor gepland (groot) onderhoud).

Door vervolgens voor elke variabele een gewogen combinatie te nemen van de individuele percentielen, waarbij het gewicht per expert overeenkomt met zijn gecombineerde calibratie- en informatiescore, leveren we optimale schattingen voor de bijdragen van de diverse sluiselementen aan respectievelijk (de onzekerheid rondom) de bouwkosten, de bouwtijd, LCC en de betrouwbaarheid en beschikbaarheid voor verschillende representatieve sluisconfiguraties. Deze resultaten zijn direct toepasbaar voor nadere analyse door TU Eindhoven en/of in verdere besluitvorming binnen MWW.

Iv-Infra b.v.
Trapezium 322
3364 DL Sliedrecht
Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
Nederland
Telefoon +31 88 943 3200
www.iv-infra.nl

Iv-Infra b.v.
Kraanspoor 28
1033 SE Amsterdam
Nederland
Telefoon +31 88 943 3200
www.iv-infra.nl

Iv-Infra b.v.
Fultonbaan 30
3439 NE Nieuwegein
Nederland
Telefoon +31 88 943 3200
www.iv-infra.nl

Iv-Groep b.v.
Noordhoek 37
3351 LD Papendrecht
Postbus 1155
3350 CD Papendrecht
Nederland
Telefoon +31 88 943 3000
Fax +31 88 943 3001
www.iv-groep.nl