



RWS INFORMATIE

MultiWaterWerk

Deelproject: Standaardisatie van Sluisdeuren

Datum	11 maart 2021
Versie	3.0
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door RWS
 Auteur RHDHV/Eric Brasser
 Informatie eric.brasser@rhdhv.com
 Telefoon +31621970511
 E-mail maurice.de.graaf@rws.nl

Datum 11 maart 2021
 Versie 3.0
 Status Definitief

Versiebeheer

0.1	22-5-2020	Opzet rapport
0.2	27-10-2020	Concept verstuurd naar Maurice de Graaf ter informatie
0.3	17-11-2020	Extra input Staal, VVK en Hybride verwerkt, hout nog niet ontvangen, ter review verzonden aan RWS en begeleidingsteam
1.0	30-11-2020	Review RWS en begeleidingsteam verwerkt, extra input hout nog niet ontvangen, verzonden aan 4 partijen ter review
2.0	15-01-2021	Opmerkingen 4 partijen verwerkt
3.0	22-02-2021	Opmerkingen MWW-team verwerkt door Maurice de Graaf

Inhoud

1	Inleiding 6
2	Procesbeschrijving 8
2.1	Procesbeschrijving 8
2.2	Uitgangspunten 8
2.2.1	Casus 8
2.2.2	Scope 9
2.2.3	Ontwerp 9
2.2.3.1	Casus 9
2.2.3.2	Standaardisatie 10
2.2.3.3	Risicoprofiel 10
2.2.3.4	Toekomstbestendigheid 10
2.2.3.5	Effect op andere sluisonderdelen 10
2.2.3.6	Effect op architectonische vormgeving 10
2.2.4	LCA 10
2.2.4.1	CO ₂ emissie en circulariteit 11
2.2.5	LCC 11
2.2.6	Impact op contractvoorbereiding en inkoop 11
3	Evaluatie 4 ontwerpen 12
3.1	Ontwerp 12
3.1.1	Hout 12
3.1.1.1	Ontwerp casus 12
3.1.1.2	Standaardisatie 13
3.1.1.3	Beschikbaarheid 14
3.1.1.4	Risicoprofiel 14
3.1.1.5	Toekomstbestendigheid 15
3.1.1.6	Effect op andere sluisonderdelen 15
3.1.1.7	Effect op architectonische vormgeving 15
3.1.2	Staal 17
3.1.2.1	Ontwerp casus 17
3.1.2.2	Standaardisatie 19
3.1.2.3	Beschikbaarheid 20
3.1.2.4	Risicoprofiel 20
3.1.2.5	Toekomstbestendigheid 21
3.1.2.6	Effect op andere sluisonderdelen 21
3.1.2.7	Effect op architectonische vormgeving 22
3.1.3	VezelVersterkte Kunststoffen (VVK) 23
3.1.3.1	Ontwerp casus 23
3.1.3.2	Standaardisatie 24
3.1.3.3	Beschikbaarheid 25
3.1.3.4	Risicoprofiel 25
3.1.3.5	Toekomstbestendigheid 26
3.1.3.6	Effect op andere sluisonderdelen 26
3.1.3.7	Effect op architectonische vormgeving 26
3.1.4	Hybride 27
3.1.4.1	Ontwerp casus 27
3.1.4.2	Standaardisatie 28
3.1.4.3	Beschikbaarheid 29
3.1.4.4	Risicoprofiel 30

3.1.4.5	Toekomstbestendigheid 31
3.1.4.6	Effect op andere sluisonderdelen 31
3.1.4.7	Effect op architectonische vormgeving 31
3.2	LCA 33
3.2.1	Hout 33
3.2.1.1	MKI 33
3.2.1.2	Kanttelingen NIBE 35
3.2.1.3	CO ₂ -emissie 35
3.2.1.4	Circulariteit 35
3.2.2	Staal 38
3.2.2.1	MKI 38
3.2.2.2	Kanttelingen NIBE 40
3.2.2.3	CO ₂ -emissie 40
3.2.2.4	Circulariteit 41
3.2.3	VVK 42
3.2.3.1	MKI 42
3.2.3.2	Kanttelingen NIBE 44
3.2.3.3	CO ₂ -emissie 44
3.2.3.4	Circulariteit 44
3.2.4	Hybride 45
3.2.4.1	MKI 45
3.2.4.2	Kanttelingen NIBE 47
3.2.4.3	CO ₂ -emissie 47
3.2.4.4	Circulariteit 47
3.3	LCC 50
3.3.1	Inleiding 50
3.3.2	Aanvullende aannames en uitgangspunten 50
3.3.3	Resultaten en analyse deterministische ramingen 51
3.3.4	Resultaten en analyse probabilistische ramingen 53
4	Afweging 55
4.1	Beschrijving methodiek 55
4.1.1	Afwegingaspecten en wijze van scoren 55
4.1.2	Wijze van wegen 56
4.2	Scoring 57
4.3	Weging 58
4.4	Gevoeligheid 58
4.5	Afhankelijkheid formaat 60
5	Impact contractvoorbereiding en inkoop 62
5.1	Hout 62
5.2	Staal 64
5.3	VVK 64
5.4	Hybride 65
5.5	NIBE-RHDHV 66
5.6	Kodos-RHDHV 67
6	Conclusies en aanbevelingen vervolg 68
6.1	Conclusie 68
6.1.1	Algemeen 68
6.2	Score varianten 70
	Bijlage 1: Verslagen bijeenkomsten en werksessies
	Bijlage 2: Eisen en randvoorwaarden

Bijlage 3: Rapporten ontwerp-LCA-LCC van 4 partijen

Bijlage 4: Rapportage schaduwberekeningen NIBE

Bijlage 5: Rapportage schaduwberekeningen KODOS

Bijlage 6: Afwegingsmodel

1 Inleiding

In het kader van het project MultiWaterWerk (MWW) worden de meest kritische onderdelen van een sluis (zoals deuren, bewegingswerken, besturing en bediening, bodembescherming en remming- en geleidewerken) gestandaardiseerd. Doel is om via standaardisatie zo efficiënt mogelijke renovaties en vervangingen in te zetten die zo duurzaam mogelijk moeten zijn, met minstens een behoud van de huidige en/of rekening houdend met de toekomstige Service Level Agreement (SLA), (met daarbij functionaliteit, beschikbaarheid en betrouwbaarheid) en tegen zo laag mogelijke levensduurkosten (aanleg, beheer/ exploitatie en onderhoud).

Een van de onderdelen van een sluis waarover nog onvoldoende kennis van standaardisatiemogelijkheden aanwezig is, betreft de materialisatie van de sluisdeur (i.e. wanneer kiest Rijkswaterstaat voor een "standaard" houten deur, wanneer voor een stalen deur, is composiet in bepaalde situaties de beste keus et cetera). Tot nu toe werd aan de markt gevraagd om na gunning het ontwerp te optimaliseren waarbij middels een LCC-analyse de aannemer moet aantonen dat zijn keuze van materiaaltoepassing voor de beheerder het beste past. Het blijkt dat deze LCC-analyse niet altijd even eenduidig door de markt wordt toegepast en minstens zo belangrijk, lastig door Opdrachtgever (Rijkswaterstaat) op de merites beoordeeld kan worden.

Het kabinet zet in op de energietransitie en de transitie naar een circulaire economie. Op basis hiervan wil Rijkswaterstaat zicht krijgen op de duurzaamheidsprestatie van de toepassing van verschillende materialen en in dit specifieke geval op de verschillende typen sluisdeuren gedurende de levensduur en op basis van Levens Cyclus Analyse (LCA). Hierbij is niet alleen van belang wat de milieuprestatie op basis van doorrekening op dit moment is maar ook wat er nodig is om op termijn tot circulaire en klimaatneutrale sluisdeuren te komen. Het gaat er niet alleen om te onderzoeken en aan te geven wat er in de ontwerp- en productiefase nodig is, maar ook welke randvoorwaarden Rijkswaterstaat in de inkoop in de vorm van eisen of gunningscriteria zal moeten opnemen om dit samen voor elkaar te krijgen. In dit onderzoek wordt de markt gestimuleerd om met een goede aanpak hiervoor te komen. Aanpak van Duurzaam GWW en de instrumenten zijn hierbij vertrekpunt.

Met het uitvoeren van een LCA en een LCC-berekening m.b.t. materialisatie van sluisdeuren in samenwerking met de GWW-markt, wordt invulling gegeven aan de opbouw van kennis bij alle partijen en hoe dit eenduidig te doen en wat nodig is om de doelstelling van duurzaamheid te halen. Deze werkwijze sluit aan bij de nieuwe marktvisie "samen met de markt", waarbij we samenwerken in de keten om gezamenlijk zo effectief en efficiënt mogelijk de Rijkswaterstaatsopgave te kunnen realiseren en bij de manier waarop alle partijen bij de Co-creatiesessies rond MWW in de Bouwcampus hebben samengewerkt.

Via een openbare aanbesteding zijn de volgende partijen uit de GWW-sector geselecteerd om voor een bestaande sluis de sluisdeur te ontwerpen en de LCA en LCC uit te voeren voor verschillende materiaalsoorten:

- Hout: ingenieursbureau Boorsma met Wijma Kampen en Agrodome Advies & Ontwikkeling
- Staal: Movares met Hollandia-Infra en SGS Intron
- Composiet, Vezel Versterkt Kunststof (VVK): Royal HaskoningDHV met FiberCore
- Hybride oplossing, staal-VVK: Sweco met FiberCore.

Vanuit de betonsector is geen belangstelling getoond om ook aan dit onderzoek deel te nemen. Verder hebben zich geen andere partijen met een andere hybride oplossing bijv. PE met staal of Hogesterktebeton met staal aangemeld.

Het onderzoek is begeleid door inhoudelijke deskundigen van Rijkswaterstaat.

Zij zijn daarbij ondersteund door:

- KODOS voor de beoordeling LCC van de 4 partijen en het opstellen van een schaduw LCC
- NIBE voor de beoordeling LCA van de 4 partijen en opstellen van een schaduw LCA
- Royal HaskoningDHV voor een peer review van resultaten, procesbegeleiding en de eindrapportage.

2 Procesbeschrijving

2.1 Procesbeschrijving

Het onderzoek is op 8 november 2019 gestart met een gezamenlijk overleg met alle betrokkenen. Daarbij zijn door middel van presentaties van de 4 partijen aanpak, uitgangspunten, planning en communicatie besproken. Tevens is een toelichting gegeven door de begeleiders van het onderzoek op hun rol en inbreng en zijn verwachtingen uitgewisseld.

Vervolgens zijn de 4 partijen aan de slag gegaan met het ontwerp en heeft RWS zich gebogen over de uitgangspunten. In een tussentijdse bijeenkomst op 12 december 2019 zijn de verwachtingen nader afgestemd, zijn de aandachtspunten van een beheerder besproken en zijn de eerste tussenresultaten door de 4 partijen gepresenteerd. Er is op 24 december 2019 door RWS een definitieve uitgangspuntennota verzonden aan alle betrokkenen.

Voor het materiaal hout is een kennissessie gehouden bij de TU Delft op 13 maart 2020 waaraan vertegenwoordigers van RWS, Boorsma, Wijma en TU hebben deelgenomen.

In een gezamenlijke werksessie op 5 maart 2020 zijn de ontwerpen met bijbehorende LCA en LCC gepresenteerd en kort besproken. De definitieve ontwerpen incl. LCC en LCA zijn in de periode 15 mei (staal, VVK en hybride) en 29 mei-6 juli (Hout) geleverd. Uiteindelijk zijn op basis van diverse rondes van review, schaduwberekeningen, aanpassingen en aanvullingen voldoende vergelijkbare gegevens geleverd.

Op basis hiervan is een concept-eindrapport inclusief afwegingsmodel samengesteld. Dit concept-eindrapport is 17 en 27 november rondgestuurd ter review aan alle deelnemers van dit onderzoek. Hierna is het eindrapport definitief gemaakt en aan de GWW-markt met korte filmpjes via sociale media en een artikel in januari 2021.

Zie ook bijlage 1 voor verslagen van de bijeenkomsten en werksessies.

2.2 Uitgangspunten

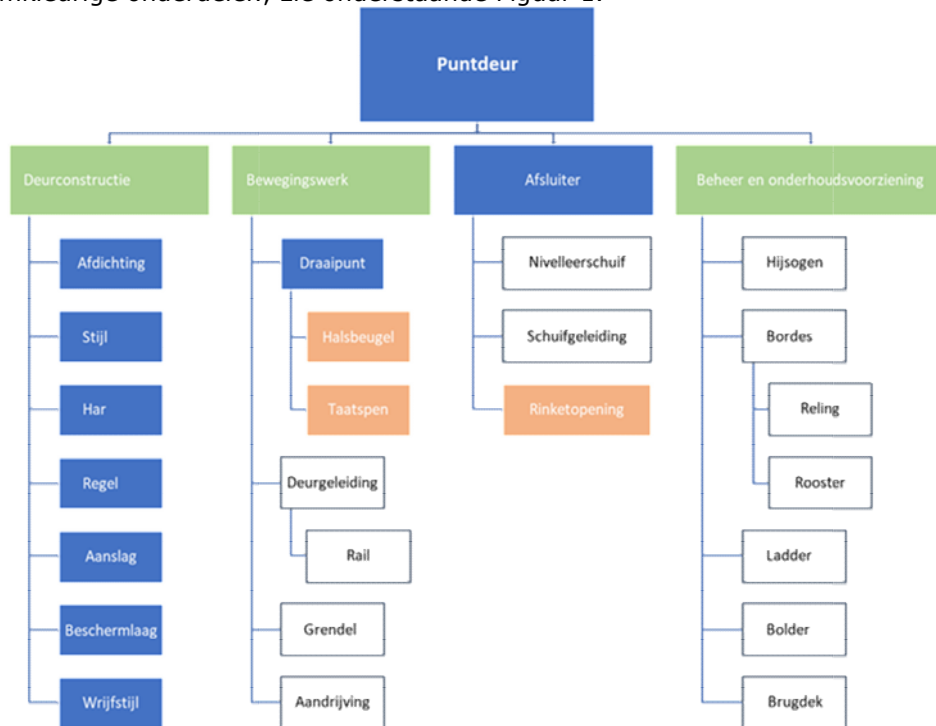
De belangrijkste eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten zijn hieronder weergegeven, voor meer details zie bijlage 2.

2.2.1 Casus

Veel van de onderstaande punten zijn gerelateerd aan de door Rijkswaterstaat geselecteerde casus Sluis 5 in de Zuid-Willemsvaart nabij Keldonk Noord-Brabant. Deze casus is gekozen om aan te sluiten bij de Rijkswaterstaatspraktijk. Er is gekozen voor een puntdeur omdat deze deurvorm het meeste (31 keer) voorkomt binnen de familie van sluizen binnen het MWW-programma (53 stuks).

2.2.2 Scope

Het gaat om 1 set puntdeuren en in ieder geval 1 set reservedeuren t.b.v. vervanging als gevolg van een aanvaring. De verdere decompositie en definities van te beschouwen onderdelen van de sluisdeur zijn als volgt. Het gaat om de blauwe en zalmkleurige onderdelen; zie onderstaande Figuur 1.



Figuur 1 Scope puntdeur

2.2.3 Ontwerp

2.2.3.1 Casus

De volgende eisen en randvoorwaarden zijn bij het selecteren van een casus de belangrijkste voor de ontwerpopgave. Ze zijn naar de mening van het MWW-team representatief voor het MWW-programma en geven binnen de afzienbare termijn van 5 tot 10 jaar voldoende perspectief voor partijen voor toepassing van de resultaten van deze studie.

1. Doorvaartbreedte: 12,60 meter
2. Deurhoogte: 6,63 meter
3. Verval: 2,18 meter
4. Deurkasafmetingen: 1,10x8,06 meter
5. Aanvaarbelasting: lichte aanvaring met snelheid van 0,5 m/s en een massa van een CEMT Va schip waarbij de deuren worden opengeduw
6. Doorbuigingseis: in de richting van de vervalbelasting is niet meer dan 1/350 van de overspanning toe te staan, en in het vlak van de deur (door drukbelasting in de deur) is niet meer dan 1/1250 van de deurbreedte toegestaan.
7. Ontwerplevensduur: 100 jaar voor gehele sluis, dit kan betekenen dat als de ontwerplevensduur van de deur korter is dat deze een of meer keren vervangen dient worden en dat dit meegenomen moet worden in de LCC en LCA

8. Gebruiksfrequentie t.b.v. vermoeiing: aantal deurbewegingen per jaar: 12×6 en 1 uur per schutting $> 12 \times 6 \times 1 \times 2 \times 52 =$ afgerond 10.000
9. Betrouwbaarheid: conform ROK: CC 3
10. Beschikbaarheid afgeleid van SLA: minstens 98% met voorkeur voor 99% en gebruiksfrequentie: 12 uur per dag en 6 dagen per week hele jaar.
11. Geen status van monument.
12. Uitwerkingsniveau: Definitief Ontwerp inclusief 3D visualisatie.

2.2.3.2 Standaardisatie

De ontwerpende partij geeft inzicht in de mate van standaardisatie. Voor andere waarden van de bepalende ontwerpparameters, doorvaartbreedte en deurhoogte, wordt de bruikbaarheid van het ontwerp aangegeven.

De doorvaartbreedte en deurhoogte varieert tussen resp. 10,5 en 12,5 meter, en 6,5 en 18,5 meter. Deze waarden zijn gebaseerd op het VenR-programma waarin de sluizen CEMT-klasse IV en Va het meest voorkomen, en de range aan optredende vervallen waarvan de deurhoogte is afgeleid.

De ontwerpende partij bepaalt de maximale waarde waarvoor het ontwerp geldige uitkomsten presenteert als input voor het dynamisch rekenmodel met LCA-waarden. Vooral nog wordt er geen dynamisch rekenmodel voor LCC- waarden gemaakt.

2.2.3.3 Risicoprofiel

De ontwerpende partijen geven aan welke risicoprofiel er bij hun ontwerpen hoort: welke risico's kunnen optreden in de volgende projectenfasen. Deze omvatten het verder uitwerken van het ontwerp tot uitvoeringsontwerp, de aanleg en het gebruik incl. beheer en onderhoud.

2.2.3.4 Toekomstbestendigheid

De toekomstbestendigheid en/of adaptiviteit voor nieuwe (materiaal) ontwikkelingen wordt aangegeven.

2.2.3.5 Effect op andere sluisonderdelen

Het effect van het deurontwerp op andere sluisonderdelen, bijvoorbeeld de aandrijving of draaipunten wordt kwalitatief aangegeven.

2.2.3.6 Effect op architectonische vormgeving

Voorts wordt het effect op de mogelijke architectonische vormgeving van de sluis kwalitatief aangegeven.

2.2.4 LCA

MKI-waarden inclusief de volledige onderbouwing op basis van de LCA conform de vigerende Bepalingsmethode Milieuprestaties gebouwen en GWW-werken van Stichting Bouwkwiteit (SBK) bepalen. De berekeningen moeten gebaseerd zijn op de Versie 3.0 van de bepalingmethode van 1 januari 2019. De LCA-berekening dient getoetst te zijn conform de procedure van categorie 1 en 2 data van SBK. De toegestane onnauwkeurigheid bedraagt 15%.

De LCA-analyse per ontworpen sluisdeur dient gebaseerd te zijn op een dynamisch rekenmodel waarin bepalende parameterwaarden, doorvaartbreedte en deurhoogte, gewijzigd kunnen worden en waarbij bij wijziging van een parameterwaarde de uitkomsten automatisch m.b.v. narekenbare formules berekend worden.

2.2.4.1 CO₂ emissie en circulariteit

Om inzicht te krijgen in de mate waarin bijgedragen kan worden aan de Rijksdoelstellingen m.b.t. klimaat impact en circulariteit, wordt de CO₂-emissie en de mate van circulariteit apart zichtbaar gemaakt. Er is hiervoor geen protocol of rekenwijze voorgeschreven door Rijkswaterstaat.

2.2.5 LCC

De SSK-methodiek voor Rijkswaterstaat wordt gehanteerd met de volgende standaard waardes:

- Discontovoet: risico-opslag: 3% plus reële rente:0%
- Prijspeil: 2018
- Investerings/aanleg: 2018
- Periode levensduur: 100 jaar, 2019 t/m 2118
- Sloop: 2119.

Mogelijke opbrengsten of extra kosten voor hergebruik na sloop zijn buiten beschouwing gelaten.

Er wordt alleen een LCC van de casus uitgevoerd. De toegestane onnauwkeurigheid (variatiecoëfficiënt) bedraagt 15%.

2.2.6 *Impact op contractvoorbereiding en inkoop*

Tenslotte geven de ontwerpende partijen aan welke randvoorwaarden Rijkswaterstaat in de vorm van eisen of gunningscriteria dient op te nemen om op zeer korte termijn (binnen vijf jaren) tot circulaire en klimaatneutrale sluisdeuren te komen.

3 Evaluatie 4 ontwerpen

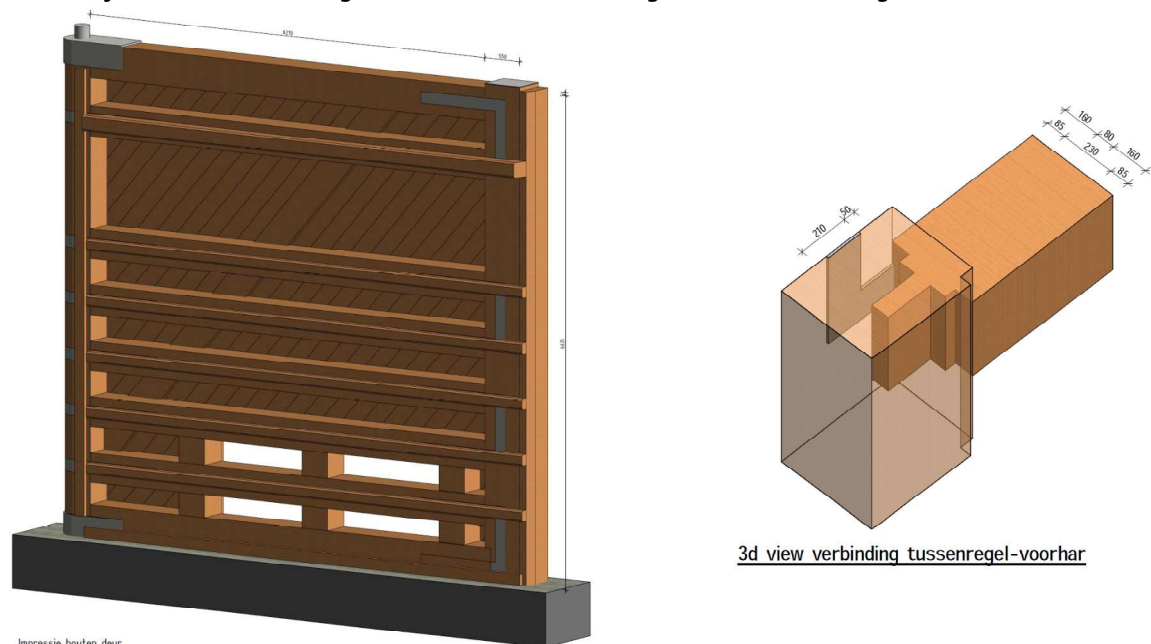
3.1 Ontwerp

Hieronder is een samenvatting gemaakt van de ontwerprapporten van de 4 partijen incl. visualisaties en beschouwing op de aspecten standaardisatie, beschikbaarheid, risico's, toekomstbestendigheid en effecten op andere sluisonderdelen en architectonische vormgeving. De ontwerprapporten zijn door RHDHV en RWS beoordeeld en het resultaat is positief: geen noemenswaardige opmerkingen of aanvullingen. De ontwerprapporten zijn als bijlage 3 toegevoegd.

3.1.1 Hout

3.1.1.1 Ontwerp casus

De houten sluisdeur is een klassiek concept qua opbouw: massief houten voor- en achterharren en regels met pen- en gatverbindingen, schuin geplaatste kleedhout en schoor en stalen strips, trekstang en schoenen met halpen en taatskom. Als houtsoort is tropisch hardhout Azobé met FSC-keurmerk gekozen. Om de aanvaarbelasting te kunnen dragen zijn stalen strippen, 400*8 mm, op de achterzijde van de bovenregel en de eerste tussenregel voorzien. Zie Figuur 2.



Impressie houten deur

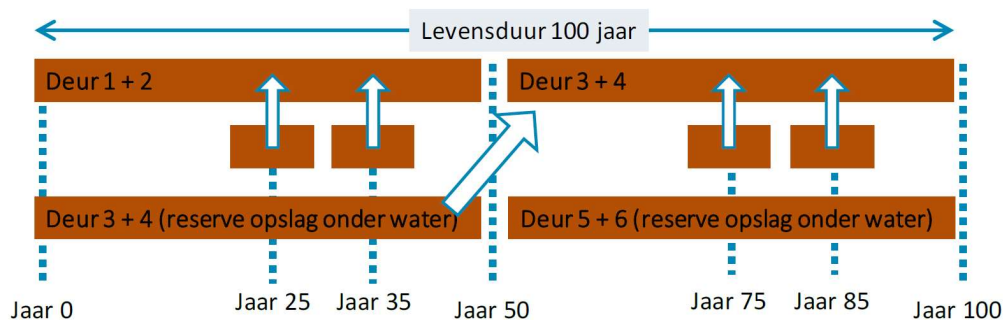
Figuur 2 3D visualisatie Houten deur

De hoeveelheden voor 6 deuren zijn in Tabel 1 aangegeven.

Materiaal/component	Hoeveelheid	Aandeel
Azobé hout	106,7 m ³ of te wel 114.650 kg	94,0%
Stalen hals- en taatsschoen, trekstang en beslag	7.080 kg	5,8%
Coating	132 m ² of te wel 221 kg	0,2%
Totaal	121.951 kg	100%

Tabel 1 Hoeveelheden houten deuren

In een kennissessie hebben Rijkswaterstaat, TU Delft, Ingenieursbureau Boorsma en Wijma Kampen vastgesteld dat met levensduurverlengend onderhoud aan het Azobé in jaar 35 de levensduur van houten sluisdeuren minimaal 50 jaar bedraagt. In jaar 25 en 75 dient de conservering van de stalen delen op beide deuren te worden vervangen. In jaar 35 en 85 vindt levensduurverlengend onderhoud plaats aan het Azobé van de gebruikte set (vervangen hout rondom de waterlijn). Voor de levensduur van houten sluisdeuren is een jaarlijkse schoonmaakbeurt met bezem nodig. Accumulatie van stof en vuil vormt anders een voedingsbodem voor begroeiing welke de deur kan aantasten. In Figuur 3 is dit onderhoudsschema gevisualiseerd.



Figuur 3 Beheer- en onderhoud schema houten deuren

In het kader van de milieuschaduwkosten van sluisdeuren kan het interessant zijn om in plaats van tropisch hardhout een andere inlandse houtsoort toe te passen waardoor minder transportkilometers nodig zijn. Een voor de hand liggende houtsoort is dan Europees Eiken. Doordat de sterkte en de duurzaamheid (levensduur) significant lager is dan Azobé wordt eiken niet zo heel vaak toegepast in Nederland en ook niet voor deze casus. In het Verenigd Koninkrijk wordt eiken vooral toegepast voor kleinere recreatiesluizen.

3.1.1.2 Standaardisatie

Het breed gedragen standaard-ontwerp is ontwikkeld in samenwerking met Wijma Kampen. Deze partij is marktleider wat het ontwerp en levering van houten sluisdeuren betreft. Het aantal fabrikanten van houten sluisdeuren is goed te overzien. In de kern is er marktbreed sprake van een beperkte variatie in het ontwerp van de houten sluisdeuren.

Op het gebied van beweegbare bruggen is er een Nederlandse Technische Afspraak (NTA) tot stand gekomen om de principes van Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen (IFD) marktbreed toe te passen. Een verdere ontwikkeling zou kunnen zijn dat het standaard ontwerp voor de houten sluisdeur inclusief de nodige principedetails worden toegevoegd aan een NTA voor IFD-ontwerp van houten sluisdeuren.

Op basis van 4 volledig doorgerekende varianten is een ontwerptool gemaakt waarmee door middel van interpolatie een ontwerp gegenereerd kan worden bij invoer van kolkbreedte en verval. Zie Tabel 2. Deze ontwerptool is gebruikt voor het dynamisch rekenmodel voor de LCA, zie verder 3.2.

	Deurafmetingen					Hout			Staal		Coating			MKI	
	Klokbreedte m	Verval m	Deurhoogte m	Deurbreedte m	Deurdikte m	Netto deurinhoud m³	Drop-off m³	Bruto deurinhoud m³	Staalgewicht kg	Staalinhoud m³	Staaloppervlakte m²	kg zink	kg epoxy	MKI / Deur	MKI / 6 Deuren
Variant 1	10,5	1,0	7,5	6,23	0,44	9,938	1,433	11,371	1036	0,132	19,25	7,28	25,06	€ 677,79	€ 4.066,74
Variant 2	12,5	4,0	10,5	7,29	0,69	25,971	3,852	29,824	1166	0,149	21,66	8,19	28,20	€ 1.813,75	€ 10.882,48
Variant 3	10,5	12,0	18,5	6,23	0,69	53,051	9,286	62,337	1897	0,242	35,24	13,32	45,88	€ 3.883,42	€ 23.300,52
Variant 4	12,5	8,0	14,5	7,29	0,69	48,601	7,816	56,417	1638	0,209	30,42	11,50	39,61	€ 3.546,49	€ 21.278,95

Tabel 2 Ontwerptool hout

Hoewel deuren met een hoogte van 18,5 m kunnen worden uitgerekend, moeten deze niet als standaard worden gezien.

De afmeting van bomen is hierin een beperkende factor omdat in het breed gedragen standaard ontwerp wordt uitgegaan van een voorhar en achterhar uit één stuk. Balken van 690x690 mm in doorsnede zijn leverbaar tot 12,0 m. Balken van 400x400 mm in doorsnede zijn leverbaar tot 18,0 m maar niet courant.

De ontwerptool is dan ook voor een doorvaartbreedte van 11,5 en 12,5 beperkt toepasbaar voor resp. een bijpassend maximaal verval van 10 en 8 meter.

3.1.1.3 Beschikbaarheid

Uit een kwantitatieve analyse van de planbare niet-beschikbaarheid voor onderhoud en de niet-planbare niet-beschikbaarheid t.g.v. een aanvaring blijkt dat de beschikbaarheid 99,6% bedraagt. Daarmee wordt ruimschoots voldaan aan de minimeis van 98%.

Niet-planbare niet-beschikbaarheid welke veroorzaakt worden door technisch falen, externe gebeurtenissen zoals brand, of natuurlijke gebeurtenissen zoals blikseminslag enzovoorts zijn buiten beschouwing gelaten.

3.1.1.4 Risicoprofiel

De deur is zodanig ontworpen dat een aanvaring opgenomen kan worden door middel van het bezwijken van de bovenregel. De kans op de aanvaring met 0,4 MJ bedraagt 0,37 over de gehele levensduur. Deze waarde is afgeleid uit het document Q1399 Aanvaarrisico's voor sluisdeuren en de opgegeven gebruiksfrequentie.

Er zijn geen gevallen bekend van onaanvaardbaar hoge gevolgschade na aanvaringen van houten sluisdeuren. Omdat nog onvoldoende onderzoek is gedaan naar de capaciteit van houten deuren bij aanvaringen, kan deze capaciteit nog onvoldoende rekenkundig worden onderbouwd.

Voor de levensduur van houten sluisdeuren is een jaarlijkse schoonmaakbeurt met bezem nodig. Accumulatie van stof en vuil vormt anders een voedingsbodem voor begroeiing welke de deur kan aantasten.

In de LCA zijn geen expliciete risico's opgenomen en er is ook geen waarde voor de onnauwkeurigheid aangegeven.

De schaduw¹ LCA van NIBE komt uit op een 22% lagere MKI-waarde wat een gevolg is van andere interpretatie van data en/of andere toepassing van de methodiek.

Door NIBE zijn wel een 3-tal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd:

1. niet meenemen minder betrouwbare MKI-waarde voor sloop

¹ De laatste wijzigingen van december 2020 zijn niet meegenomen in de schaduwberekening

2. niet meenemen van uitloging omdat andere partijen dat ook niet hebben gedaan en

3. levensduur van 33 jaar i.p.v. 50 jaar.

Deze analyses leveren resp. 58% hogere, 31 % hogere en 2% lagere waarden op t.o.v. de schaduw-MKI-waarde.

Het lijkt er dan ook op dat niet aan de eis van 15% onnauwkeurigheid wordt voldaan.

In de LCC-raming zijn de volgende risico's opgenomen:

- 10% over directe bouw- en levensduurkosten plus eenmalige en uitvoeringskosten
- Aanvaarrisico tijdens gebruiksfase, met als beheersmaatregel vervangen van de bovenregel: $0,37 * €33.269 = €12.310$.

Uit de probabilistische kostenraming blijkt dat de variatiecoëfficiënt 11% bedraagt. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 15%.

66% van de risico's die bijdragen aan deze onnauwkeurigheid zijn mede gerelateerd aan het ontwerp:

- a) Het aanvaarrisico (54%) en
- b) Hoeveelheid te leveren hout (12%).

23% van de risico's is gerelateerd aan prijzen en 11% aan overige oorzaken.

3.1.1.5 Toekomstbestendigheid

Zolang het om duurzaam beheerde bossen gaat waaruit het Azobé hout gewonnen wordt, is dit toekomstbestendig.

Het breed gedragen standaardontwerp biedt nog veel ruimte voor optimalisatie in de toekomst of mogelijkheden voor aanpassing bij wanneer in de toekomst de eisen die aan sluisdeuren gesteld worden verder evolueren.

Ook in de toekomst zullen expertise en leveringscapaciteit beschikbaar blijven. Wijma Kampen geeft blijk van commitment aan het verder ontwikkelen van de houten sluisdeur met inspanningen op het gebied van R&D (samen met TU-Delft Onderzoeksgroep Engineering Structures Biobased Structures and Materials). Voorbeelden hiervan zijn in de kennissessie gepresenteerd.

3.1.1.6 Effect op andere sluisonderdelen

De sluisdeuren hebben een enigszins groter gewicht dan de huidige houten deuren van de casus door de extra stalen strips nodig tegen aanvaring. Het mogelijk negatieve effect op de draaipunten en aandrijvingen is dan ook een aandachtspunt.

De reservedeuren kunnen onder water (achter het remmingwerk) worden afgezonken. Hier hoeft geen aparte opslagruimte op het land voor te worden gereserveerd (hetzij op de locatie van het sluiscomplex, hetzij in een opslaghal in de nabijheid).

3.1.1.7 Effect op architectonische vormgeving

Houten sluisdeuren lenen zich minder goed voor vormvrije herinterpretaties van keermiddelen voor sluizen. Dergelijke ontwerpen liggen uiteraard ook buiten de scope van een breed gedragen standaardontwerp.

Houten sluisdeuren zullen bij levering mooi bruin zijn (vers gezaagd hout) maar op den duur onder invloed van zonlicht (UV straling) verkleuren naar grijs. Dit kan als nadeel gezien worden, maar hier kan in de kleurstelling van overige delen op geanticipeerd worden.

Houten sluisdeuren kunnen bijdragen aan een architectonische vormgeving waarin duurzaamheid een grote rol speelt. Hout uit duurzaam beheerde bossen is een natuurlijk en hernieuwbaar materiaal en wordt ook als zodanig herkend door het publiek.

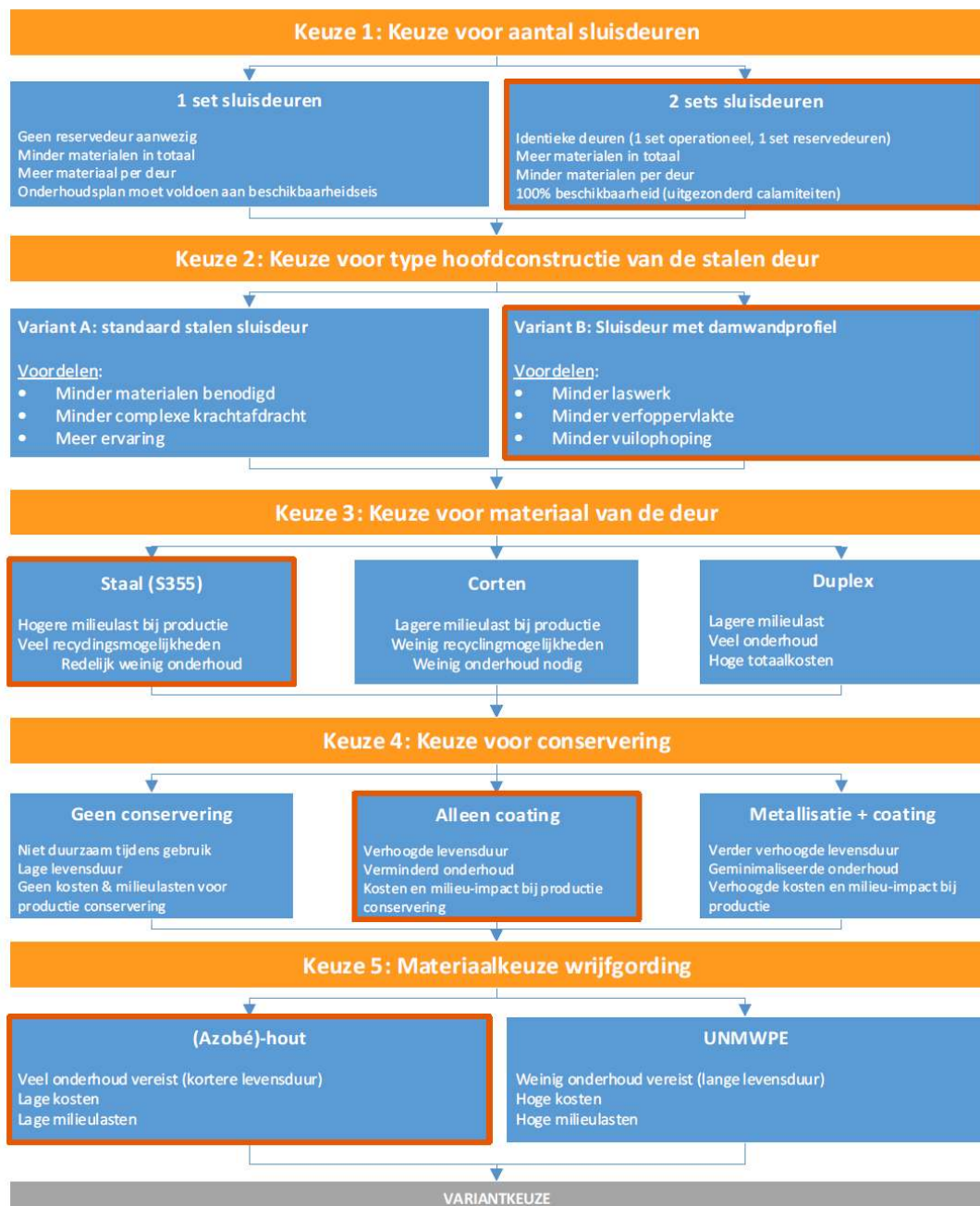
Houten sluisdeuren kunnen bijdragen aan authenticiteit van een ontwerp. De vormgeving van de deur heeft een lange geschiedenis en kan daar in architectonisch zin ook aan refereren.

3.1.2 Staal

3.1.2.1 Ontwerp casus

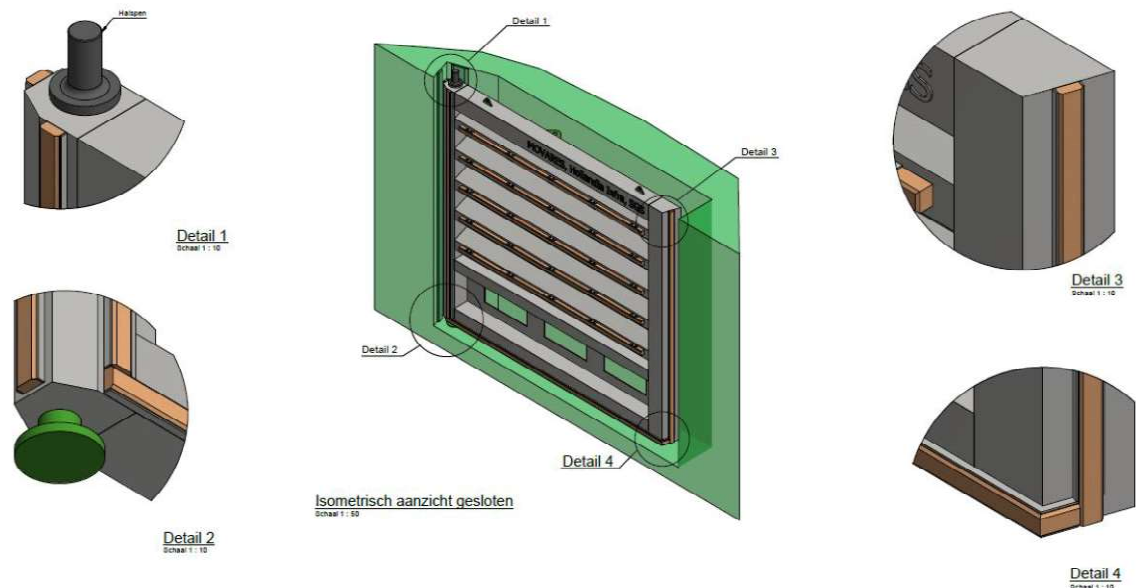
Voor het ontwerp van de stalen sluisdeur zijn meerdere varianten voor diverse aspecten gegenereerd en geanalyseerd op LCA en LCC-effecten.

Het resultaat is de keuzematrix uit Figuur 4 waarbij de uiteindelijke keuze rood is omkaderd.



Figuur 4 Keuzematrix varianten stalen deur

De gekozen variant bestaat uit damwandprofielen voor de waterkerende plaat en koker van luchtdicht afgelaste samengestelde profielen voor de 3 regels en de voor- en achterharren. Zie Figuur 5.



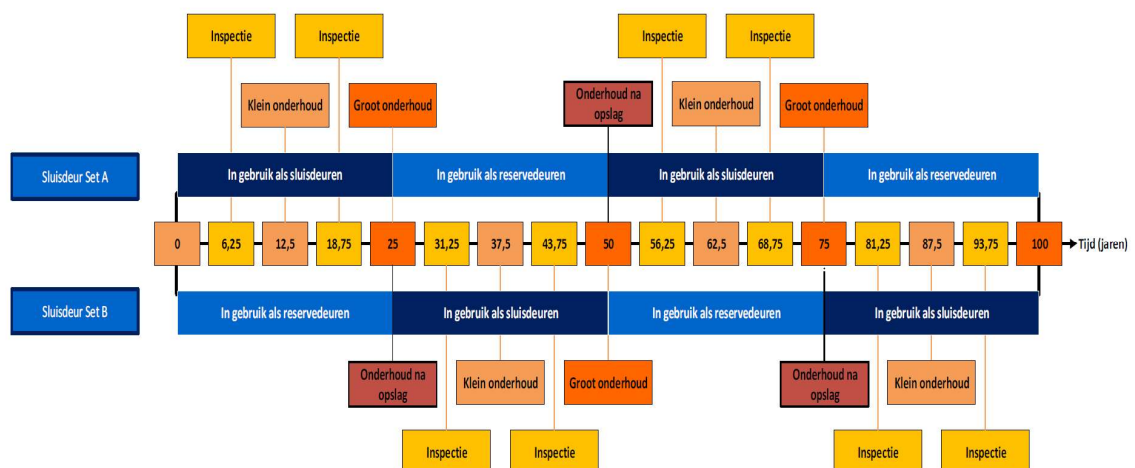
Figuur 5 3D visualisatie Stalen deur

De hoeveelheden voor 4 deuren zijn in Tabel 3 aangegeven.

Materiaal/component	Hoeveelheid	Aandeel
Stalen kokerprofielen en beplating	51.360 kg	90,8%
Stalen halsbeugel en taatskom	1.800 kg	3,2%
Azobé aanslagen en wrijfhout	2.544 kg	4,5%
Coating	868 kg	1,5%
Totaal	56.536 kg	100%

Tabel 3 Hoeveelheden stalen deuren

In Figuur 6 is het onderhoudsplan voor de stalen sluisdeur weergegeven. In dit onderhoudsplan is het voorgeschreven dat de 2 sets sluisdeuren elkaar om de 25 jaar afwisselen.



Figuur 6 Onderhoudsplan stalen puntdeuren

3.1.2.2 Standaardisatie

Naast de casus is een sluisdeur met een doorvaartwijdte van 12,5 meter met een groter verval (6,00 m) berekend. Op deze manier is het mogelijk om door middel van interpolatie en extrapolatie te bepalen wat de hoeveelheden en oppervlaktes van de materialen zijn. Door middel van expert judgement zijn vervolgens deze hoeveelheden en oppervlaktes definitief vastgesteld.

Omdat niet voor elke case berekeningen zijn uitgevoerd, zijn voor sommige componenten binnen het dynamisch model voor de LCA de volgende aannames gedaan:

- De breedte en diepte van de kokerprofielen veranderen niet.
- De breedte en diepte van de wrijfhouten veranderen niet.
- De aantallen, breedte en diepte van de afdichtingen veranderen niet.
- Voor de 'cases' met een verval van meer dan 11,00m dienen de nivelleeropeningen in een andere configuratie te worden geconstrueerd. In dit dynamisch model is dit niet meegenomen en blijft de configuratie van de nivelleeropeningen gelijk aan de 'cases' met een verval van minder dan 11,00m

Deze aannames hebben invloed bij het vaststellen van de betrouwbaarheid van de resultaten uit het LCA-model. Hoe meer aannames per case, des te minder betrouwbaar de resultaten van de MKI-waardes zijn.

Deze betrouwbaarheid is vastgesteld door expert judgement, waarbij de hoeveelheden van de materialen en verfooppervlakte van de verschillende sluisdeuren uitvoerig zijn geanalyseerd. Met de kleuren in de laatste kolom van Tabel 4 is de betrouwbaarheid aangegeven: van groen naar rood van betrouwbaar naar niet betrouwbaar. De twee blauwe rijen geven de cases weer, die binnen de opgegeven range vallen. De groene rij geeft de case weer, waarvoor door de constructeur een extra berekening is uitgevoerd.

Nr	Doorvaart-breedte [m]	Deur-breedte [mm]	Verval [mm]	Deurhoogte [mm]	MKI-waarde [-]	Betrouw-baarheid [-]
1	12,6	7325	2200	6625	7060	
2	10,5	6125	1000	6500	6012	
3	12,5	7192	1000	6500	6749	
4	10,5	6125	1000	7500	6694	
5	10,5	6125	2000	8500	7377	
6	10,5	6125	3000	9500	8236	
7	10,5	6125	4000	10500	8864	
8	10,5	6125	5000	11500	10702	
9	10,5	6125	6000	12500	11483	
10	10,5	6125	7000	13500	12528	
11	10,5	6125	8000	14500	13331	
12	10,5	6125	9000	15500	15491	
13	10,5	6125	10000	16500	16370	
14	10,5	6125	11000	17500	17605	
15	10,5	6125	12000	18500	18508	
16	12,5	7192	1000	7500	7514	
17	12,5	7192	2000	8500	8279	
18	12,5	7192	3000	9500	9261	
19	12,5	7192	4000	10500	10053	
20	12,5	7192	5000	11500	11997	
21	12,5	7192	6000	12500	14332	
22	12,5	7192	7000	13500	14069	
23	12,5	7192	8000	14500	14969	
24	12,5	7192	9000	15500	17341	
25	12,5	7192	10000	16500	18321	
26	12,5	7192	11000	17500	19741	
27	12,5	7192	12000	18500	20755	

Tabel 4 Betrouwbaarheid dynamisch rekenmodel stalen puntdeuren

3.1.2.3 Beschikbaarheid

In een semi-kwantitatieve analyse wordt aangegeven dat de beschikbaarheid rekening houdend met alleen niet-beschikbaarheid t.g.v. planbaar onderhoud plan 99% bedraagt. Niet-planbare niet-beschikbaarheid welke veroorzaakt worden door technisch falen, externe gebeurtenissen zoals aanvaring, brand, of natuurlijke gebeurtenissen zoals blikseminslag enzovoorts zijn buiten beschouwing gelaten.

3.1.2.4 Risicoprofiel

Tijdens het keuzetraject voor de voorkeursvariant zijn meerdere risico's afgewogen en er zijn bijpassende beheersmaatregelen getroffen bij de gekozen variant. Er zijn geen risico's benoemd voor de volgende projectfasen.

In de LCA is aangegeven dat sommige materialen en processen moeilijk zijn mee te nemen omdat gegevens ontbreken. Vaak zijn dit processen die in de basis niet onderscheidend zijn, maar afhankelijk van het ontwerp in andere hoeveelheden meegenomen moeten worden. Voorbeelden hiervan zijn:

- Stralen van de sluisdeuren
- Coatingsystemen
- Materieel voor het plaatsen van de deuren, sloop, etc.

Het is raadzaam om hier afspraken over te maken (Product Category Rules (PCR) voor sluisdeuren), standaardprocessen op te nemen in de Nationale Milieudatabase.

De nauwkeurigheid van de LCA is niet aangegeven in de vorm van een waarde voor de variatiecoëfficiënt

De schaduw-LCA van NIBE komt uit op een 11% lagere MKI-waarde wat een gevolg is van andere interpretatie van data en/of een andere toepassing van de methodiek. Door NIBE is wel een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd nl. niet meenemen minder betrouwbare MKI-waarde voor sloop.

Deze analyse leverde een 126% hogere waarde op t.o.v. de schaduw MKI-waarde. Het lijkt erop dat er niet aan de eis van 15% onnauwkeurigheid is voldaan.

In de LCC-raming zijn de volgende generieke risico percentages opgenomen:

- 2% over directe bouw- en levensduurkosten plus eenmalige en uitvoeringskosten
- 5% over voorziene bouwkosten incl. bijkomende kosten voor niet benoemde objectrisico's
- 10% over voorziene levensduurkosten voor niet benoemde objectrisico's

Uit de probabilistische kostenraming blijkt dat de variatiecoëfficiënt 19% bedraagt. Hiermee wordt niet voldaan aan de eis van 15%.

5% van de risico's die bijdragen aan deze onnauwkeurigheid zijn mede gerelateerd aan het ontwerp:

- a) Engineeringskosten (3%) en
- b) Nader te detailleren (2%).

71% van de risico's is gerelateerd aan prijzen. De grootste bijdrager aan de onzekerheden in de kosten is het bewerken van de stalen onderdelen van de stalen sluisdeur. Dit heeft te maken met de schommelingen in de arbeidskosten van de bewerking en de bewerkelijkheid van de gekozen stalen sluisdeur. De andere grote bijdragers zijn het omwisselen van de sluisdeur met de reservedeur, het coaten van de deuren en de aanschaf van het staal.

24% van de risico's is gerelateerd aan overige oorzaken.

3.1.2.5 Toekomstbestendigheid

De winning van ijzererts is een niet duurzaam proces, waarbij bij de bewerking van dit ijzererts naar staal ook veel energie vrijkomt. De verwachting is dat deze processen in de komende jaren sterk zullen vergroenen (zie diverse publicaties in vakbladen). Om een doorkijk te geven naar de toekomst wanneer de staalindustrie is verduurzaamd en minder CO₂ – intensief wordt gemaakt is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Eén van de ontwikkelingen waaraan in de staalindustrie wordt gewerkt is het vervangen van cokes door waterstof. Op deze wijze wordt de CO₂-emissie die ontstaat bij de productie van cokes vermeden mits waterstof duurzaam geproduceerd wordt. Daarnaast wordt ook de CO₂-emissie die ontstaat als gevolg van de reductie van het ijzererts vermeden.

Van deze nieuwe techniek zijn nog geen LCA-gegevens beschikbaar in de Ecoinvent database. Om het effect hiervan op de bijdrage van het milieueffect klimaatverandering van de sluisdeur te onderzoeken is een berekening gemaakt waarbij de volgende aannames zijn gedaan:

1. Waterstofproductie is volledig klimaatneutraal.
2. Er zijn geen verschuivingen in de staalproductie waardoor de bijdrage aan klimaatverandering van andere processtappen zou toenemen.

Het resultaat van deze berekening is indicatief, en is gemaakt door te kijken naar de hoeveelheid ruwijzer (pig iron) die in de berekening wordt gebruikt. Volgens Ecoinvent is de CO₂-emissie bij de productie van 1 kg ruwijzer: 0,85 kg. Uitgaande dat dit de hoeveelheid CO₂ is die in het aangepaste proces niet ontstaat, is deze van de berekening afgetrokken.

Zoals te zien is in Tabel 5 is de potentiële invloed op de productie van de sluisdeur relatief groot. De bijdrage aan het milieueffect klimaatverandering neemt af met zo'n 30%.

Echter, wanneer in de toekomst al het staal op deze wijze wordt geproduceerd, dan wordt bij de recycling van staal in de volgende levenscyclus ook "klimaat-neutraler staal" uitgespaard.

De negatieve bijdrage in module D wordt hierdoor kleiner wat een groot deel van de berekende milieubesparing tenietdoet. De wijze waarop dit effect precies moet worden geduïd en moet worden meegewogen in LCA-berekeningen (en het vergelijken van LCA-resultaten in toekomstige tenders) vraagt om vervolgonderzoek (en rekenregels).

	Default sluisdeur	Sluisdeur, toekomst	Vershil	Vershil
	kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	%
Invloed op productie sluisdeur (A1-3)	145840	99243	-46597	-32
Invloed op module D	-94728	-49339	45389	-48

Tabel 5 Effect klimaat neutraler staal

Daarnaast wordt er momenteel ook gekeken naar wetgeving om staal te hergebruiken zonder deze te hoeven omsmelten.

3.1.2.6 Effect op andere sluisonderdelen

De afmeting van de stalen deur voor de casus is zo gekozen dat deze in de huidige deurkas past en uitwisselbaar is met de houten deur.

Aangezien naast de afmeting ook de aanslagen (voorzijde en achterzijde) op dezelfde positie zijn geplaatst, blijven de draaipunten op dezelfde locatie als nu bij

de houten deur. Hierdoor zijn deze draaipunten (taats en halsbeugel) te hergebruiken voor de stalen deur.

De stalen deur heeft vaak echter iets meer gewicht dan de huidige houten deur, waardoor het noodzakelijk is een toets uit te voeren of de huidige draaipunten en aandrijving voldoen.

In de praktijk zal een uitwisseling van deuren plaats vinden tijdens groot onderhoud inclusief de draaipunten en aandrijving zodat de nieuwe situatie voldoet aan de op dat moment geldende richtlijnen (o.a. machineveiligheid) en de komende jaren minimaal onderhoud behoeft.

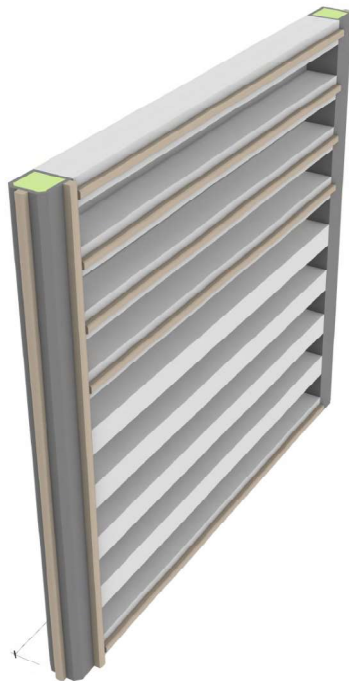
3.1.2.7 Effect op architectonische vormgeving

Vanwege deze inpassing in de huidige sluis zijn er geen aanpassingen aan de vormgeving van de sluis vereist. Het effect op de architectonische vormgeving van de sluis zal daardoor minimaal zijn, doordat alleen het uiterlijk van de stalen sluisdeur verandert. De traditionele stalen sluisdeur wordt immers vervangen door een combideur met kokerprofielen gecombineerd met een grote gebogen staalplaat. Echter indien een houten deur vervangen wordt door een stalen deur dan verandert wel de architectonische vormgeving.

3.1.3 Vezel/Versterkte Kunststoffen (VVK)

3.1.3.1 Ontwerp casus

Er is een afweging gemaakt tussen een traditionele sandwichconstructie en een plaat met troggen. Het laatste concept scoort beter op LCA en is dan ook gekozen om verder uit te werken en te optimaliseren met het volgende resultaat. De sluisdeur bestaat uit 9 troggen met een hart op hart afstand van 0,80 meter. De voor- en achterhar bestaan uit gesloten kokers die gevuld worden met een constructieve vulling. Zo ontstaat er een stijve kern welke de spatkrachten naar de afdichting (aanslagen) kan afdragen. Ook de onderste en bovenste 2 troggen worden in de ruimte tussen de plaat en de trog constructief gevuld. De overige ruimtes worden met een niet-constructieve vulling uitgevoerd. Voor de verbindingen aan de deur van taats en halspen worden stalen schoenen toegepast die met bouten door versterkte zones bevestigd worden. Zie Figuur 7.



Figuur 7 3D visualisatie Vezel Versterkt Kunststof deur

De hoeveelheden voor 4 deuren, 2 hoofddeuren en 2 lichtere reservedeuren, zijn in Tabel 6 aangegeven.

Materiaal/component	Hoeveelheid	Aandeel
VVK(hars+glasvezels)	18.388 kg	74,1%
Vulling(PU schuim)	412 kg	1,7%
Vulling(PET schuim)	873 kg	3,5%
Aanslagen(R-HDPE)	688 kg	2,8%
Beschermlaag(Gelcoat, Tiecoat)	232kg	0,9%
Hardhouten wrijfstijlen	1001 kg	4,0%
Stalen hals- en taatsschoen	1600 kg	6,5%
Ongewapend betonnen ballast	1600 kg	6,5%
Totaal	24.794 kg	100%

Tabel 6 Hoeveelheden VVK- deuren

De hoofddeuren zijn uitgevoerd met een zeer duurzaam onderhoudsarm beschermingssysteem, zogenaamd tiecoat. De tiecoat bestaat uit een chemisch resistente vinylesterhars met een random glasvezelversterking. Daarbovenop wordt een gelcoat toplaag toegepast. Bij het onderhoud van de hoofddeuren is uitgegaan van iedere 5 jaar inspectie door duikers. Bij kleine schades en krassen is reparatie van een coating niet direct noodzakelijk, omdat de gebruikte materialen chemisch resistent zijn.

Als conservatieve aanname wordt in de LCC wel een voorziening genomen voor de lokale reparatie van de gelcoat. Aangehouden is bijwerken om de 20 jaar van 10% van het oppervlak.

De draaipunten zijn uitgevoerd in staal met TSA coating. Door het lage gewicht van de deur is de slijtage gering. De draaipunten worden iedere 5 jaar gesmeerd. Na 50 jaar worden de lagers van de draaipunten vervangen.

De reservedeuren zijn bij de VVK-constructie alleen benodigd bij een calamiteit. De hoofddeuren kunnen 100 jaar mee en zijn bestand tegen aanvaring. Bij calamiteit kunnen de hoofddeuren bij een kleine beschadiging hersteld worden en bij een grotere beschadiging 1:1 geproduceerd en vervangen worden zonder dat de beschikbaarheid onder de 98% komt. Bij de case uitwerking is een reservedeur gevraagd, deze deur wordt alleen ingezet al er een nieuwe hoofdeur is geproduceerd. De deuren zijn eenvoudig uitwisselbaar waardoor deze weer als reservedeur ingezet kan worden. Door de kortere belastingstijd hoeft deze reservedeur niet op kruip te worden gedimensioneerd en daardoor lichter worden uitgevoerd.

De reservedeuren worden buiten, dat wil zeggen niet geconditioneerd, opgeslagen onder een zeil met schoren. De deuren zijn hierdoor beschermd tegen UV-stralen en directe vervuiling of winderosie en hebben geen verdere bescherming nodig. De deuren behoeven vanwege dit lichte gebruik geen onderhoud, afgezien van lichte reiniging na ieder gebruik.

De hoofddeuren zijn ontworpen om de voorgeschreven aanvaring te weerstaan. In geval de reservedeuren in gebruik zijn wordt een snelheidsbeperking ingesteld om aanvaring te voorkomen.

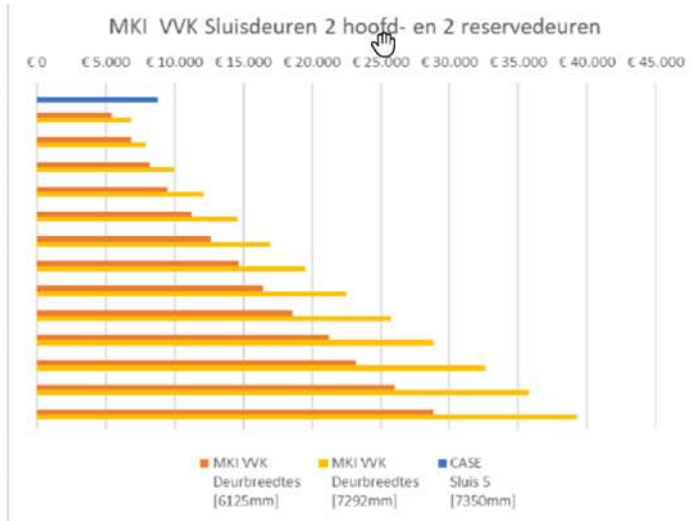
In geval van schades, bijvoorbeeld door een zwaardere aanvaring en andere incidenten is reparatie goed en snel mogelijk door wegfrezen van beschadigde zones en deze opnieuw te lamineren en lokaal te coaten. Er is geen specifieke mal vereist. Indien nodig kunnen injecties ook onderwater plaatsvinden.

3.1.3.2 Standaardisatie

Er is een parametrisch rekentool ontwikkeld waarmee zonder beperkingen de gehele bandbreedte aan doorvaartbreedtes en deurhoogtes is gedimensioneerd en rekenkundig is getoetst, zie Tabel 7 met de resultaten voor de variant met de lichtere reservedeur.

Hoogte	CASE Sluis 5 [7350mm]	MKI VVK Deurbreedtes [6125mm]	MKI VVK Deurbreedtes [7292mm]
6625 mm	€ 8.737,24		
6500 mm		€ 5.461,43	€ 6.854,52
7500 mm		€ 6.852,19	€ 7.937,89
8500 mm		€ 8.235,77	€ 9.941,04
9500 mm		€ 9.499,47	€ 12.143,92
10500 mm		€ 11.215,79	€ 14.630,91
11500 mm		€ 12.704,26	€ 16.975,51
12500 mm		€ 14.658,22	€ 19.496,90
13500 mm		€ 16.393,52	€ 22.489,93
14500 mm		€ 18.596,63	€ 25.728,35
15500 mm		€ 21.218,03	€ 28.845,50
16500 mm		€ 23.219,54	€ 32.569,34
17500 mm		€ 25.973,55	€ 35.780,10
18500 mm		€ 28.852,05	€ 39.254,92

MKI waarden voor 2 hoofd- en 2 reservedeuren



Tabel 7 Resultaten dynamisch rekenmodel VVK-variant lichtere reservedeur

Deze rekentool is de basis voor de het dynamische rekenmodel LCA, zie 3.2.

3.1.3.3 Beschikbaarheid

Er is geen (semi)kwantitatieve analyse uitgevoerd. De kwalitatieve analyse geeft het volgende aan. Een VVK-deur heeft maar beperkt onderhoud nodig. Zie de LCC - berekening en haalt daarmee een beschikbaarheid van minstens 99%. Inspectie en onderhoud kan onder water worden uitgevoerd. Indien de reservedeur identiek als de hoofd deur wordt uitgevoerd, zal de beschikbaarheid minimaal gelijkwaardig zijn aan de hybride deur: 99,8%.

Voor de gewenste beschikbaarheid hoeft er ook geen voorgeschreven reservedeur te worden toegepast. Omdat in 3 maanden een nieuwe deur geleverd kan worden is de niet beschikbaarheid ook in geval van calamiteiten beperkt.

3.1.3.4 Risicoprofiel

Er is een risico op delaminatie bij aanvaring. Dit dient voorkomen te worden door een zorgvuldige detaillering van de aansluiting van de regels op de achterplaat en de harren, waarbij gezorgd wordt voor grote overlappen en zeer vlakke afschuining. Producent Fibercore werkt zelf met gepatenteerde Infracore techniek waarbij de overlappen en afschuining meegenomen worden en de kans op delamineren en de gevolgen ervan worden verkleind.

Het is een feit dat als een schip met grote snelheid een sluisdeur van willekeurig materiaal aanvaart er grote schade ontstaat waardoor de sluisdeur vervangen zal moeten worden. Het uitgangspunt voor de aanvaarkracht in het ontwerp is een stuk kleiner en betreft manoeuvres van het schip waarbij met geringe snelheid de sluisdeur wordt geraakt. Hierop zijn de VVK-sluisdeuren gedimensioneerd en ze kunnen zonder schade deze belasting opnemen.

De reservedeuren zullen niet of slechts zeer beperkt ingezet worden en zijn geoptimaliseerd voor het specifieke kortdurende gebruik in geval van onvoorzien onderhoud en calamiteiten. In het geval dat deze reservedeuren in gebruik zijn wordt er een snelheidsbeperking ingesteld om risico op aanvaring te voorkomen. De reservedeuren kunnen daarmee lichter en goedkoper worden uitgevoerd. De andere

3 partijen hebben een andere interpretatie van de eisen en een set reservedeuren opgenomen die identiek zijn aan de hoofdeuren.

In de LCA zijn geen expliciete risico's opgenomen en er is ook geen waarde voor de onnauwkeurigheid aangegeven.

De schaduw-LCA van NIBE komt uit op een 13% lagere MKI-waarde wat een gevolg is van andere data en/of andere toepassing van de methodiek.

Door NIBE is wel een 2-tal gevoeligheidsanalyse uitgevoerd:

1. Niet meenemen minder betrouwbare MKI-waarde voor sloop en
2. Toepassen standaard harssysteem i.p.v. biobased harssysteem dat niet inzichtelijk is gemaakt en niet is geverifieerd.

Deze analyses leverden respectievelijk een 10% hogere en 27% hogere waarde op t.o.v. de schaduw MKI-waarde.

Het lijkt er dan ook op dat er niet aan de eis van 15% onnauwkeurigheid wordt voldaan.

In de LCC-raming zijn de volgende generieke risico percentages opgenomen:

- 2% over directe bouw- en levensduurkosten plus eenmalige en uitvoeringskosten
- 10% over voorziene bouwkosten incl. bijkomende kosten voor niet benoemde objectrisico's
- 10% over voorziene levensduurkosten voor niet benoemde objectrisico's

Uit de probabilistische kostenraming blijkt dat de variatiecoëfficiënt 16% bedraagt.

Hiermee wordt net niet voldaan aan de eis van 15%.

9% van de risico's die bijdragen aan deze onnauwkeurigheid zijn mede gerelateerd aan het ontwerp, 54% daarvan is gerelateerd aan prijzen en 37% aan overige oorzaken.

3.1.3.5 Toekomstbestendigheid

Er is nog veel potentie in de ontwikkeling van het materiaal. Het ontwerpmodel is aanpasbaar aan nieuwe eisen en randvoorwaarden. Voor elke sluisdeur geldt dat als waterkerende niveaus wijzigen dit impact heeft op het sluisdeur-ontwerp. Door koolstofstrips op de troggen te lamineren kan de deur versterkt worden en een grotere capaciteit krijgen.

3.1.3.6 Effect op andere sluisonderdelen

Door het lagere gewicht kunnen de draaipunten gehandhaafd blijven en is er gedurende de levensduur minder slijtage te verwachten dan bij de overige materialen. Hier kan inspectie en onderhoud van de draaipunten op geoptimaliseerd worden. De aandrijving hoeft niet aangepast te worden, vanuit het materiaal VVK zijn er geen beperkingen voor de krachtsinleiding zodat de aandrijving gehandhaafd kan blijven. Bij vervanging van de aandrijving is de sluisdeur in VVK niet beperkend t.o.v. andere sluisdeurmateriaal. De VVK-sluisdeur heeft een grote ontwerpvrijheid waardoor deze in elke sluis inpasbaar gemaakt kan worden, zonder noodzakelijke aanpassingen aan het sluishoofd.

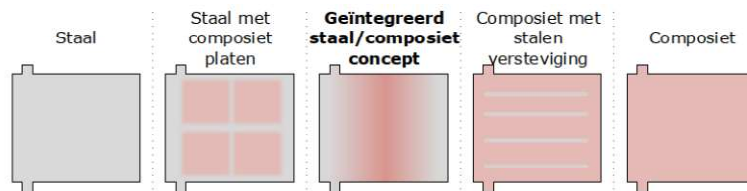
3.1.3.7 Effect op architectonische vormgeving

Een reguliere VVK-deur is een doosconstructie. Met de gekozen VVK-oplossing met troggen wordt de reguliere vormgeving van een houten sluisdeur benaderd. Deze kan in diverse kleuren worden geleverd zonder dat het onderhoud hierdoor toeneemt.

3.1.4 Hybride

3.1.4.1 Ontwerp casus

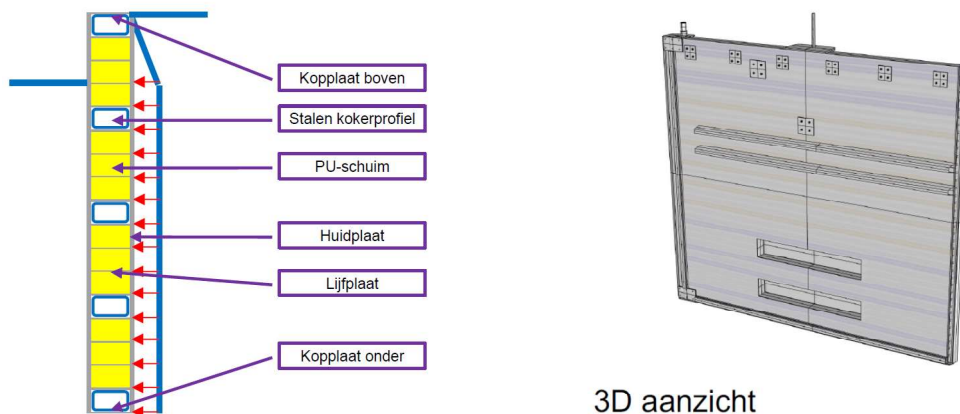
Er zijn 3 hoofd concepten afgewogen, zie middelste 3 in onderstaande Figuur 8.



Figuur 8 Schematische hybride concepten

Uit eerdere studies is bekend dat per eenheid sterkte en stijfheid de milieubelasting (MKI) van de bouw (stichting) van composiet hoger is dan die van staal. Dit is andersom voor de levensduurkosten, door het meenemen van de technische levensduur en het benodigde onderhoud in die periode. Daarom wordt in het ontwerp gestreefd naar uitsluitend composiet aan de buitenzijde (composiet schil omhult het staal volledig) en een optimaal-minimale hoeveelheid composiet in het constructief ontwerp.

Analyse van maakbaarheid, ontwerpmethodiek en LCA heeft geleid tot een sandwich van composiet, waarbij de schuimrijen (bij een volcomposiet deur gevuld met PU-schuim) zijn afgewisseld met stalen standaard kokerprofielen. Dit schuim heeft geen constructieve functie maar moet worden opgevat als een verloren bekisting, benodigd voor het productieproces. De horizontale kokerprofielen zijn nauw omsloten met composiet. Zie Figuur 9.



Figuur 9 Visualisatie Hybride deur

De hoeveelheden voor 4 deuren zijn in Tabel 8 aangegeven.

Materiaal/component	Hoeveelheid	Aandeel
VVK(hars+vezels)	20.762 kg	38,2%
Schuimvulling	899 kg	1,7%
Stalen kokers	27.981 kg	51,4%
HMPE aanslagen	928 kg	1,7%
Bescherm laag(Gelcoat, Tiecoat)	838 kg	1,5%
HMPE wrijfgordingen	2012 kg	3,7%
Stalen hals- en taatsschoen	928 kg	1,7%
Totaal	54.348 kg	100%

Tabel 8 Hoeveelheden hybride deuren

Voor de reservedeuren is uitgegaan van een set identieke deuren als de set welke in de sluis wordt gemonteerd. Fibercore geeft echter aan dat in geval van een calamiteit binnen drie maanden een nieuwe set deuren kan worden geproduceerd. Het ontwerptraject hoeft immers niet opnieuw. Daarbij is reparatie van de beschadigde sluisdeuren veelal ook nog mogelijk. De reservedeuren zullen daarom slechts een half jaar functioneel zijn. Het is daarom het onderzoeken waard of de reservedeuren aan lagere sterkte eisen en levensduureisen mogen voldoen. In dat geval zou een slankere en goedkopere hybride reservedeur volstaan. Ook kan worden overwogen om een goedkopere houten deur als reservedeur toe te passen. Omdat de set reservedeuren identiek is aan de set deuren welke in de sluis gemonteerd worden zijn de reservedeuren bestand tegen weersinvloeden. De reservedeuren kunnen in de nabijheid van de sluis worden geplaatst in de open lucht.

De sluisdeuren zijn ontworpen op een levensduur van honderd jaar. De inspectie richt zich daarom vooral op afwijkende schade. Boven water kan deze inspectie visueel worden uitgevoerd. Onder water kan deze inspectie worden uitgevoerd met een ROV. Stremming van de sluis voor inspectie is daardoor niet nodig. De inspectie dient minstens één keer per twintig jaar te worden uitgevoerd.

De coating wordt extra dik aangebracht waardoor deze honderd jaar mee kan zonder tussentijds onderhoud. Naast de extra laagdikte is met de vinylester tiecoat gekozen voor een extra hoogwaardige harslaag.

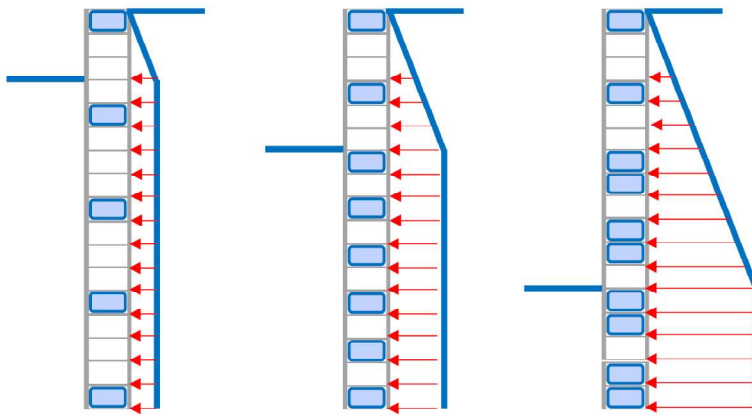
De taatsschoen en halsmuts worden ontworpen op een levensduur van honderd jaar. Hierdoor is er geen tussentijds onderhoud nodig aan de taatsconstructie. Door het geringe gewicht van de sluisdeur is de slijtage gering. Verder is gekozen voor RVS waardoor geen aanvullende conservering nodig is.

De aanslaglat en wrijfgordingen worden ontworpen op een levensduur van honderd jaar. Hierdoor is er geen tussentijds onderhoud nodig aan deze onderdelen. De aanslaglat en wrijfgordingen worden uitgevoerd in HMPE, een zeer slijtvast materiaal.

3.1.4.2 Standaardisatie

Het ontwerp wordt uitgewerkt voor de case, maar het constructieprincipe leent zich voor het ontwikkelen van een standaarddeur. De composiet-sandwich kan geschikt gemaakt worden om toe te passen onder afwijkende omstandigheden zoals een grotere kolkbreedte of een grotere vervalbelasting.

De extra benodigde sterkte en/of stijfheid kan dan gerealiseerd worden door toevoeging van staal (extra profielen, of profielen met grotere wanddikte), zie Figuur 10.

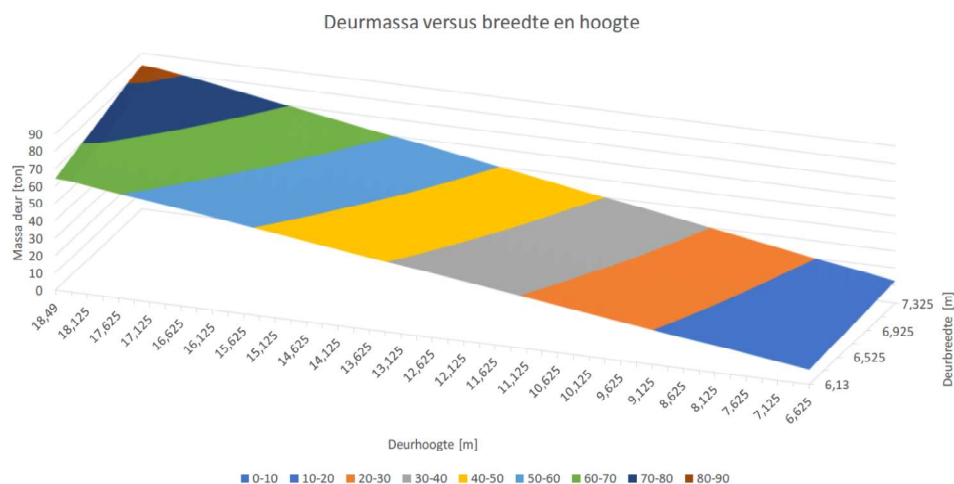


Figuur 10 Standaardisatie mogelijkheden hybride deur bij verschillend verval

De figuur laat de mogelijkheid tot configureren van een standaard-sandwich zien. Voor drie verschillende vervalbelastingen kan met één standaardtype sandwich worden volstaan. Door staal toe te voegen kan de deur getuned worden op de locatiespecifieke belastingen.

De hybride-oplossing biedt dus de mogelijkheid tot standaardisatie met bijkomende mogelijkheid tot het realiseren van bijvoorbeeld schaalvoordelen, met de mogelijkheid tot het leveren van maatwerk door de staalhoeveelheid locatie specifiek te bepalen.

Er zijn 4 varianten constructief doorgerekend met als hoekpunten de grenswaarden van de bandbreedtes van doorvaartbreedte en deurhoogte. Tussenvallende waarden worden voor de materiaalsoorten berekend middels bi-lineaire interpolatie. Grafisch is het bepaalde verband tussen de deurmassa, deurbreedte en deurhoogte in Figuur 11 weergegeven.



Figuur 11 Deurmassa hybride deur versus doorvaartbreedte en deurhoogte

3.1.4.3 Beschikbaarheid

Uit een eenvoudige RAMS-analyse blijkt een beschikbaarheid van 99,8%. Hierbij is rekening gehouden met niet beschikbaarheid t.g.v. planbaar-onderhoud en een niet

planbare aanvaring. Niet-planbare niet-beschikbaarheid welke veroorzaakt worden door technisch falen, externe gebeurtenissen zoals brand, of natuurlijke gebeurtenissen zoals blikseminslag enzovoorts zijn buiten beschouwing gelaten.

3.1.4.4 Risicoprofiel

De risico's zijn op een kwalitatieve wijze geïnventariseerd en er zijn beheersmaatregelen geformuleerd op basis van de zeven thema's van de RISMAN-methodiek.

De belangrijkste (technische) risico's t.a.v. 1) normering en 2) onbekendheid van het gedrag van composiet in combinatie met andere materialen op de lange termijn voor sluisdeuren zijn ondervangen door 1) toepassing van de thans gangbare en door Rijkswaterstaat voorgeschreven rekenregels voor composiet en 2) het technisch ontwerp is dusdanig 'getuned' dat de maatgevende onderdelen van de constructie niet samenvallen met de onbekendheden van het materiaalgedrag. Specifiek in het geval van de hybride composiet-staal komt een deel van de constructieve prestatie van het (bekende) staal. Bij de hybride-deur zijn de staalprofielen centrisch geplaatst, waardoor de samenwerking tussen staal en composiet niet afhankelijk is van de hechting tussen de samenstellende materialen. Daarnaast is het mogelijk bij een gerealiseerde sluisdeur monitoring, idealiter met ingebouwde automatisch uitgelezen en geïnterpreteerde data, in te zetten als early-warning system.

In de LCA zijn geen expliciete risico's opgenomen en er is ook geen waarde voor de onnauwkeurigheid aangegeven.

De schaduw-LCA van NIBE komt uit op een 13% lagere MKI-waarde wat een gevolg is van toegang tot niet publieke data en/of een andere toepassing van de methodiek.

Door NIBE is wel een 2-tal gevoeligheidsanalyse uitgevoerd:

1. Niet meenemen minder betrouwbare MKI-waarde voor sloop en
2. Toepassen standaard harssysteem i.p.v. biobased harssysteem dat niet inzichtelijk is gemaakt en niet is geverifieerd.

Deze analyses leverden respectievelijk een 43% hogere en 26% hogere waarde op t.o.v. de schaduw MKI-waarde.

Het lijkt er dan ook op dat er niet aan de eis van 15% onnauwkeurigheid wordt voldaan.

In de LCC-raming zijn de volgende generieke risico percentages opgenomen:

- 2,5% over directe bouw- en levensduurkosten plus eenmalige en uitvoeringskosten
- 10% over voorziene bouwkosten incl. bijkomende kosten voor niet benoemde objectrisico's
- kans op aanvaring gedurende de levensduur 10% x ½ investeringskosten
- 10% over voorziene levensduurkosten voor niet benoemde objectrisico's.

Uit de probabilistische kostenraming blijkt dat de variatiecoëfficiënt 21% bedraagt. Hiermee wordt niet voldaan aan de eis van 15%.

89% van de risico's die bijdragen aan deze onnauwkeurigheid zijn mede gerelateerd aan het ontwerp waarvan 84% aanvaarrisico; 7% is gerelateerd aan prijzen en 4% aan overige oorzaken.

3.1.4.5 Toekomstbestendigheid

Voor de toekomstbestendigheid van hybride deuren is het van belang om naar de ontwikkelingen op het gebied van composiet te kijken. Een voordeel van composiet als materiaal is dat het in meerdere sectoren wordt ingezet en dat ook in deze sectoren onderzocht en geëxperimenteerd wordt met nieuwe toepassingen. Onder andere in de volgende sectoren speelt composiet een grote rol:

- Automotive industry
- Maritieme toepassingen
- Lucht- en ruimtevaart

Meer dan in andere materialen is er sprake van het leren van ervaringen op andere vakgebieden. De hybride deuren zijn door aard van het materiaal nu al in situ te repareren via onderstaand proces:

1. Verwijder de afwerking of de beschadigde zone
2. Breng de versterkingen aan in de vorm van extra lagen vezels (glas- of koolstofvezels). Er zijn al ontwerprichtlijnen beschikbaar over de hechtingslengte en de hoek waarmee deze verdikkingen dienen aan te sluiten op de bestaande constructie
3. Injecteer de nieuwe lagen met hars en laat uitharden, al dan niet in combinatie met na-harding onder een warmte-deken (zoals dat ook met reparatie-technieken uit de luchtvaart gebeurt)
4. Wanneer een innovatie in de markt heeft geleid tot betere composietvezels of harsen kunnen deze in de huidige situatie al toegepast worden. Wanneer vervanging noodzakelijk blijkt kan dan ook gebruik worden gemaakt van de beschikbaar gekomen nieuwe vezels en/of harsen, wat resulteert in een lichtere of goedkopere deur.

3.1.4.6 Effect op andere sluisonderdelen

Het effect dat sluisdeuren hebben op andere sluiselementen wordt voornamelijk bepaald door het gewicht. De deur is lichter dan de huidige houten deur in de casus en betekent dan ook minder slijtage van de draaipunten. Voor hybride sluisdeuren wordt nu één grote doorslaggevende factor gezien, namelijk de doorbuigingseis. De provincie Drenthe heeft hierin de koppositie te pakken door deuren met een eis van 1/150 te accepteren. Met een dergelijke eis kunnen hybride deuren nog lichter worden uitgevoerd, wat doorwerkt in meerdere aspecten. Door het gebruiken van prestatie-eisen in plaats van absolute waarden creëert een opdrachtgever architectonische vrijheid.

Zo is een nog lichtere deur uiteraard minder kostbaar maar is deze ook makkelijker te produceren. Door het lichtere gewicht is deze makkelijker te plaatsen, waardoor weer minder zwaar materieel tijdens de uitvoering noodzakelijk is.

Het innovatieve karakter van de hybride deur heeft verder geen invloed op de aandrijving, deze is niet materiaal-specifiek. De aandrijving kan dus op basis van bestaand assortiment worden gekozen zonder een oplossing specifiek voor de hybride deur te hoeven ontwikkelen.

3.1.4.7 Effect op architectonische vormgeving

Wanneer gekeken wordt naar de architectonische uitstraling van een bestaande sluis en de invloed die de deuren hierop hebben, wordt dit bepaald door de maakbaarheid van de vorm van de deur, en de uitstraling die de materialisatie een deur geeft.

Door het productieproces met een mal zijn er wat beperkingen aan de maakbaarheid van de vorm bij hybride sluisdeuren, maar een slimme engineering

maakt wel veel mogelijk. Wat hierbij belangrijk is, is dat door de flexibiliteit van composiet het bij hybride sluisdeuren relatief makkelijk is om in de productiefase elementen integraal op te nemen.

Veel van de bestaande sluisdeuren zijn in hout of staal gerealiseerd, wat een meer traditionele en rustieke uitstraling heeft. Door het toepassen van hybride sluisdeuren wordt het uiterlijk veranderd. Een hybride deur (met als zichtbaar materiaal composiet) heeft een andere, strakkere uitstraling. Een dergelijke deur heeft de uitstraling van grotere platen, in tegenstelling tot het meer element-gebaseerde uiterlijk van houten en stalen deuren. Wanneer het opwaarderen van een sluis noodzakelijk blijkt biedt een hybride deur, naast constructieve voordelen, Rijkswaterstaat ook de keuzevrijheid en een extra optie in uitstraling.

3.2 LCA

Hieronder is een samenvatting gemaakt van de LCA-rapportages van de 4 partijen incl. circulariteit en CO₂-emissie. Daarbij worden de resultaten voorzien van kanttekeningen, gevoeligheidsanalyses en een schaduwberekening van NIBE.

3.2.1 Hout

3.2.1.1 MKI

De MKI-waarde bedraagt €6.373 over 100 jaar voor in totaal 6 deuren.

Hierbij zijn per fase de volgende aannames en uitgangspunten gehanteerd.

Productiefase A1-4:

De bij de fabricage gebruikte producten en materialen zijn afkomstig van verschillende toeleveranciers, alleen voor het Azobé hout is een vaste leverancier, Wijma. Het hout is afkomstig uit duurzaam beheerde bossen in Afrika (Kameroen en Gabon). De basismaterialen worden bij Wijma te Kampen aangeleverd. De houten delen worden op maat gezaagd, geschaafd, geboord en waar nodig geprofileerd. Vervolgens wordt de houten sluisdeur geassembleerd. De metalen delen, het beslag is kant en klaar aangeleverd en wordt nu op de sluisdeuren bevestigd.

Transport en montage fase A4-5:

De gereedgemaakte sluisdeuren worden vanuit de werkplaats vervoerd naar de sluislocatie met volgeladen EURO5 vrachtwagens waarbij is uitgegaan van een transportafstand van 150 km. Op de bouwplaats wordt de houten sluisdeur geplaatst, hierbij wordt gebruik gemaakt van een grote en een kleine diesel kraan.

Gebruiksfase B1-7:

De gestandaardiseerde houten sluisdeur heeft een levensduur van 50 jaar bij de juiste toepassing van het product. En als het onderhoud, het jaarlijks met borstel en water schoonhouden van de sluisdeur wordt gegaan. Hiervoor is geen proces opgenomen wegens zeer geringe impact. Na 35 jaar dient de beplanking ter hoogte van de waterlijn te worden vervangen (B3). Dit gebeurt op locatie. De uitloging van zink is beschouwd als verwaarloosbaar.

Einde-levensduurfase C1-4:

Demontage en sloop vindt handmatig plaats, met inzet van een kraan. De aangenomen transportafstanden zijn: 50 km naar sorteerinstallatie en 100 km van sloop- of sorteerlocatie naar verwerkingslocatie. Voor de afvalverwerking van de gestandaardiseerde houten sluisdeur is gerekend met voor het hout 5% stort, 80% verbranden en 15% verspanen en voor overige materialen stort.

Baten en lasten buiten systeemgrens D:

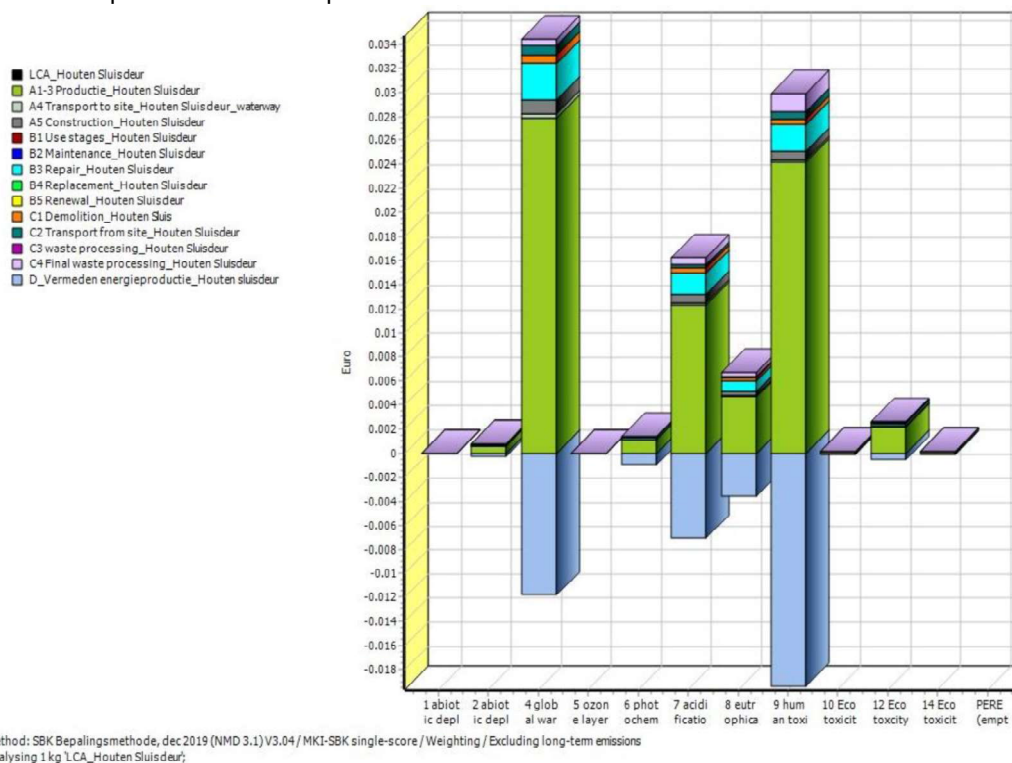
Voor het hout van de gebruikte sluisdeuren is een aanpassing nodig op de standaard waarden. Het Azobé van de gebruikte sluisdeuren heeft een vochtgehalte van 30% waarbij de standaard Lower Heat Value uitgaat van 12%. Hierdoor gaan we uit 12,25 MJ i.p.v. 13,99 MJ.

Hieronder staan in Tabel 9 voor de milieueffecten de resultaten van de MKI **per sluisdeur**.

Impact categories	Units	A1-3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal
Abiotic depletion, non fuel	kg antimoine eq.	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,04	0,06
Abiotic depletion, fuel	kg antimoine eq.	12,22	0,12	0,50	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,33	0,36	0,00	0,15	-5,09	9,92
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	543,21	5,85	22,58	0,00	0,00	58,90	0,00	0,00	15,06	14,99	0,00	9,70	-229,26	441,02
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFK-11 eq.	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,03
Photochemical oxidation	kg ethyleen eq.	21,89	0,14	0,92	0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	0,61	0,36	0,00	1,03	-19,14	7,90
Acidification	kg SO2 eq.	239,34	3,51	13,71	0,00	0,00	33,71	0,00	0,00	9,14	5,19	0,00	11,01	-138,31	177,31
Eutrophication	kg PO4- eq.	92,19	1,78	6,94	0,00	0,00	16,16	0,00	0,00	4,63	2,36	0,00	6,37	-69,76	60,67
Human toxicity	kg 1,4- DB eq.	471,72	2,43	14,64	0,00	0,00	43,11	0,00	0,00	9,76	11,06	0,00	28,63	-377,70	203,65
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4- DB eq.	2,89	0,02	0,07	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,05	0,11	0,00	0,08	-1,53	1,97
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	42,93	0,20	0,76	0,00	0,00	4,24	0,00	0,00	0,51	1,27	0,00	0,72	-9,52	41,12
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	2,99	0,01	0,02	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,02	-1,31	1,95
Totaal	€	1.429,51	14,06	60,14	0,00	0,00	160,02	0,00	0,00	40,10	35,72	0,00	57,72	-851,68	945,59

Tabel 9 MKI-milieueffecten per houten sluisdeur²

In onderstaande zwaartepuntanalyse is te zien dat de productiefase(A1-3) de grootste impact veroorzaakt op het milieu.



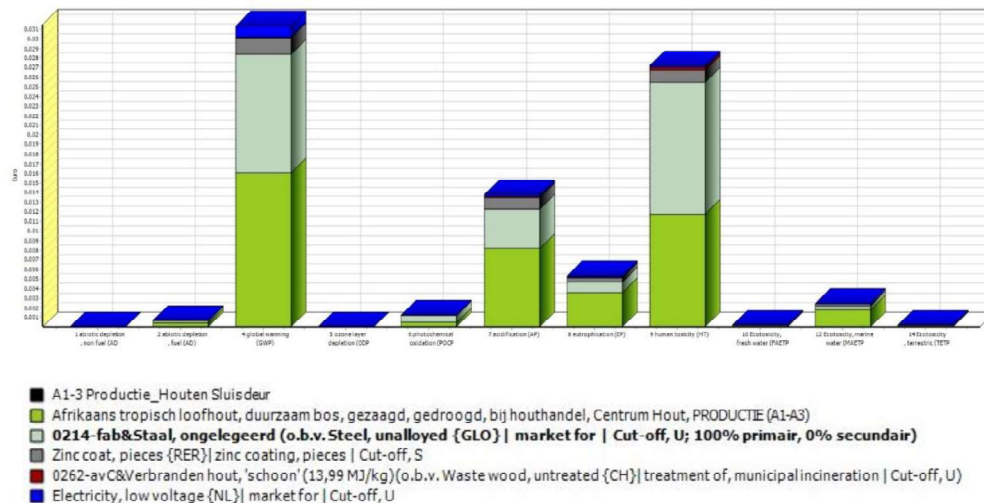
Figuur 12 Zwaartepuntanalyse LCA per milieueffect houten deur³

Global warming en human toxicity scoren met name erg hoog. Echter is human toxicity ook de impact-categorie met de hoogste negatieve waarde door de vermeden energieproductie(D).

Als we inzoomen op de productiefase kunnen we zien welk materiaal of proces deze hoge scores veroorzaakt. Ook in de productiefase zijn Global warming en Human Toxicity de zwaarstwegende categorieën door de grote hoeveelheid hout en het staal van het beslag.

² Waardes zijn niet aangepast voor gewijzigd ontwerp van december 2020

³ Waardes zijn niet aangepast voor gewijzigd ontwerp van december 2020



Figuur 13 Milieu impact per materiaal productiefase houten deur

Gekeken naar de hoeveelheden gecombineerd met de effecten is duidelijk te zien dat het staal in verhouding de grootste impact heeft.

3.2.1.2 Kanttekeningen NIBE

De schaduwberekening⁴ van de MKI-waarde komt 22% lager uit nl. op € 4.412.

Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door:

- NIBE hanteert 'free of burden' voor secundaire grondstoffen (verandering tussen BM 2.0 en 3.0 en niet overal correct verwerkt)
- NIBE hanteert de nieuwe data van de staal federatie, waarvan de MKI ca. 12% lager ligt (over A1-A3) dan het proces steel, unalloyed uit EcoInvent.
- NIBE hanteert een cat 2 proces voor Azobé dat is aangepast aan toepassing in de GWW (geen actieve droogstap).
- NIBE hanteert een correct invulling van module D m.b.t. vermeden productie van energie en voorkomen productie van primaire grondstoffen.

Zie voor gevoeligheidsanalyses 3.1.1.

3.2.1.3 CO₂-emissie

Uit Tabel 9 is af te leiden dat voor 6 deuren de CO₂ emissie waarde 52,9 ton CO₂-eq. bedraagt.

De CO₂-emissie waarde volgens de schaduwberekening van NIBE bedraagt 34,3 ton CO₂-eq.

3.2.1.4 Circulariteit

Momenteel is er nog geen vast programma voor de omgang met houten sluisdeuren aan het eind van de levensduur. Dit wil niet zeggen dat een houten sluisdeur of de onderdelen van een houten sluisdeur ongeschikt zijn voor hergebruik en recycling. Er zijn verschillende mogelijkheden denkbaar voor circulariteit van houten sluisdeuren aan het einde van de levensduur.

⁴ Schaduwberekening is niet meer aangepast aan gewijzigde ontwerp van december 2020

Metalen onderdelen van de houten sluisdeuren:

Voor de metalen onderdelen van de deuren is het al gebruikelijk dat deze worden gerecycled.

Hout, duurzame circulaire grondstof

Hout wordt niet gezien als een schaarse grondstof. Het is een hernieuwbaar product. Echter hardhout zoals Azobé heeft vele jaren nodig om tot een volwassen boom te groeien. Het hout dat hier wordt gebruikt heeft het FSC-label, dit betekent dat het hout afkomstig is uit duurzaam beheerde bossen. Duurzame bosbouw beschermt de bossen en bosgronden om blijvend voldoende bomen te laten groeien. Ook de directe omgeving, de omringende flora en fauna wordt zoveel mogelijk beschermd bij de oogst van de bomen.

Hout, meer dan brandstof

Een duurzaam bossysteem is circulair. Daarnaast is het ook voor hout interessant om het zo lang mogelijk in de kringloop te houden en opnieuw hoogwaardig in te zetten voor andere producten. Hout wordt in het algemeen nu standaard gezien als een te verbranden product, brandstof aan het einde van de levenscyclus. Dat kan altijd, maar er is meer mogelijk.

Van de sluisdeuren kunnen veel bouwproducten gemaakt worden door het hout her te gebruiken of te recycleren. Van de grote, dikke regels en stijlen tot en met de beplanking. Alle houten delen die aan het eind van de levensduur nog (voldoende) goed zijn.

De grote balken kunnen met minimale bewerking wederom geschikt worden gemaakt voor constructieve toepassing, wellicht zelfs voor kleinere sluisdeuren. Voor de beplanking kan bijvoorbeeld gedacht worden aan design toepassingen, meubilair, kastjes zoals dat al gebeurt met 'drijfhout (hout dat op stranden aan is gespoeld)' of oude steigerplanken.

Circulaire economie en hout

Er is vanuit grote opdrachtgevers maar ook op de particuliere markt steeds meer vraag naar gebruikt hout voor interieur toepassingen of buiteninrichting. Steeds meer opdrachtgevers (overheden, vastgoedinvesteerders, banken) richten zich op verbeteren van de circulariteit van hun gebouwen. Hierdoor stijgt de vraag naar hergebruikte materialen. De duurzaamheid van Azobé en de eenvoudige aanpasbaarheid van houten producten maakt dit bij uitstek geschikt voor hergebruik. In projecten van Rijkswaterstaat maakt hergebruikt hout in 2004 reeds 13% uit van het totaal aandeel gebruikte tropisch hardhout.

Voorbeelden van toepassingen waarin hergebruikt Azobé uit sluisdeuren in kleinere (herzaagde) afmetingen opnieuw jaren kan worden ingezet zijn:

- Beschoeiingen (zoals opgeklamte schotten of vlechtschermen)
- Damwand (gordingen, afdekkers, wanddelen, vingerlassen met vuren)
- Dekplanken en terrasdelen
- Gevelbekleding
- Schuttingdelen
- Draglineschotten
- Stophout (cribbing wood) in de offshore, op scheepswerven
- Wrijfhout voor geleidewerken, sluisdeuren, damwanden, of scheepshuid
- Meubilair of andere interieur items

Wijma Kampen ondersteunt initiatieven op dit gebied zoals het retoursysteem voor sluisdeuren. Hergebruik na einde levensduur kan grote impact hebben op de LCA.

3.2.2 Staal

3.2.2.1 MKI

De MKI-waarde bedraagt € 7.026 over 100 jaar voor 4 deuren. Daarbij zijn volgende aannames en uitgangspunten gehanteerd.

Productiefase A1-A4:

Er is op dit moment van uitgegaan dat de sluisdeuren worden geproduceerd op het terrein van Hollandia Infra, waarbij gebruik wordt gemaakt van staal van Europese leveranciers.

Doordat de onderdelen op maat worden besteld, is er nagenoeg geen productieafval.

Op de locatie van de sluisdeurenproducent worden de stalen onderdelen door middel van lassen aan elkaar bevestigd.

De deuren worden ook gereinigd (door middel van stralen) en gecoat (spuiten).

Voor stralen en spuiten zijn geen goede procesgegevens beschikbaar. Voor stralen is een inschatting gemaakt voor het energieverbruik, namelijk op basis van het energiegebruik voor een compressor en de inschatting dat twee sluisdeuren in twee dagen tijd gestraald kunnen worden (16 uur en een vermogen van 18,5 kW⁴) en dat de compressor draait op elektriciteit. Het ontstaan van productieafval in deze stap is verwaarloosd op basis van het gegevens dat volgens Hollandia-Infra meestal een herbruikbaar straalgrit wordt gebruikt en dat in de productiefase nog geen coating op het staal is aangebracht.

Voor het coaten is voorondersteld dat de bijdrage van het spuitproces klein is vergeleken met de bijdrage vanuit de materialen voor de coating. Alleen de materialen voor de coating zijn meegenomen in de LCA-berekeningen.

Transport en montage fase A4-A5:

De stalen sluisdeur zal in de meeste gevallen over het water naar de toepassing worden getransporteerd. Voor de transportafstand is de forfaitaire waarde uit de Bepalingsmethode gehanteerd: 150 km. De sluisdeuren worden met een diesel kraan in de sluis aangebracht. De benodigde tijd is 4 uur per deur.

Gebruiksfase B1-B5:

Het uitgangspunt is dat door het gekozen coating systeem de deur dermate goed beschermd zal zijn dat corrosie nagenoeg niet op treedt en dat er dus (nagenoeg) geen emissie zal zijn van metalen naar de omgeving. De effecten hiervan zijn verwaarloosd in de LCA.

Tijdens de gebruiksfase zal regelmatig onderhoud plaatsvinden. Tijdens het stralen van de deuren wordt gebruik gemaakt van een herbruikbaar straalgrit. Voor de coating wordt een laag van 800µu aangebracht, waarbij met name het materiaal van de coating een relatief grote milieulast betreft.

Einde-levensduur fase C1-C2-D

Aan het eind van de levensduur worden de deuren met een kraan opgepakt en op een transportmiddel geplaatst voor verdere verwerking. Na het einde levensduur wordt verondersteld dat het staal voor 100% gerecycled wordt bij de afvalverwerker. Het Azobé-hout wordt voor 95% verbrand en de overige 5% wordt gestort. De coating wordt ten slotte voor 100% verbrand.

In de Tabel 10 is het milieuprofiel weergegeven van de levenscyclus van de stalen sluisdeur.

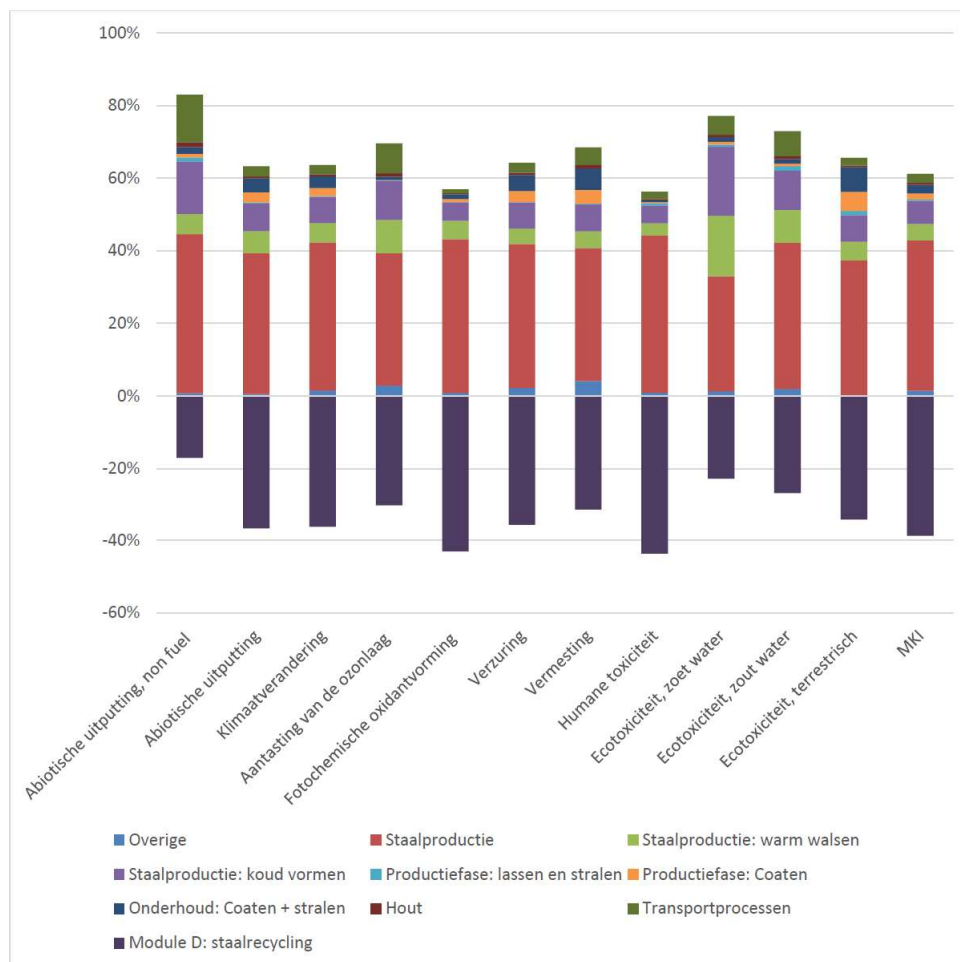
Milieueffect	Eenheid (equivalenten)	Totaal	Productie Stalen sluisdeur (A1-3)	Transport naar de toepassing (A4)	Plaatsen van de sluisdeur (A5)	Gebruik / onderhoud (B1-5)	Sloop (C1)	Transport afvalverwerking (C2)	Finale afvalverwerking (C3)	Finale afvalverwerking (C4)	Module D
Abiotische uitputting, non fuel	kg Sb	9,14E+02	9,20E+02	2,20E+04	2,34E+04	2,06E+02	2,34E+04	1,15E+03	9,70E+05	2,04E+05	-2,39E+02
Abiotische uitputting	kg Sb	4,67E+02	9,89E+02	2,59E+00	4,83E+00	1,14E+02	4,83E+00	2,99E+00	2,63E+01	1,18E+01	-6,52E+02
Klimaatverandering	kg CO ₂	7,07E+04	1,46E+05	4,08E+02	6,99E+02	1,52E+04	6,99E+02	4,04E+02	4,67E+01	2,09E+03	-9,47E+04
Aantasting van de ozonlaag	kg CFK11	5,85E+03	8,59E+03	6,01E+05	1,26E+04	1,48E+03	1,26E+04	7,45E+05	5,27E+06	2,14E+06	-4,61E+03
Fotochemische oxidantvorming	kg C ₂ H ₄	5,15E+01	2,00E+02	2,37E+01	7,05E+01	1,06E+01	7,05E+01	2,39E+01	2,12E+01	1,06E+02	-1,61E+02
Versuring	kg SO ₂	3,11E+02	5,99E+02	2,94E+00	5,29E+00	9,16E+01	5,29E+00	1,75E+00	1,11E+00	1,42E+01	-3,06E+02
Vermesting	kg PO ₄ ³⁻	4,71E+01	6,82E+01	6,47E+01	1,10E+00	1,66E+01	1,10E+00	3,49E+01	2,88E+01	6,21E+02	-4,15E+01
Humane toxiciteit	kg 1,4DB	1,59E+04	6,72E+04	9,03E+01	2,48E+02	3,81E+03	2,48E+02	1,62E+02	1,31E+02	7,17E+01	-5,60E+04
Ecotoxiciteit, zoet water	kg 1,4DB	7,92E+02	1,01E+03	2,33E+00	3,46E+00	1,01E+02	3,46E+00	4,75E+00	9,98E+01	6,22E+00	-3,39E+02
Ecotoxiciteit, zout water	kg 1,4DB	1,83E+06	2,50E+06	7,22E+03	1,17E+04	3,42E+05	1,17E+04	1,71E+04	2,55E+03	2,38E+04	-1,09E+06
Ecotoxiciteit, terrestrisch	kg 1,4DB	1,36E+02	2,46E+02	4,65E+01	4,14E+01	3,94E+01	4,14E+01	5,73E+01	1,36E+01	5,69E+01	-1,62E+02
Energie, primair – hernieuwbaar	MJ	3,49E+05	2,27E+05	1,14E+02	5,81E+01	1,75E+05	5,81E+01	8,52E+01	1,76E+01	6,44E+00	-8,35E+04
Energie, primair – niet hernieuwbaar	MJ	1,06E+06	1,77E+06	5,69E+03	1,00E+04	2,62E+05	1,00E+04	6,66E+03	5,36E+02	2,49E+02	-1,01E+06
Energie, primair – totaal	MJ	1,41E+06	1,99E+06	5,81E+03	1,09E+04	4,37E+05	1,09E+04	6,74E+03	5,54E+02	2,56E+02	-1,06E+06
Waterverbruik	kg	5,60E+02	8,70E+02	1,18E+00	8,92E+01	4,81E+01	8,92E+01	1,20E+00	5,60E+00	5,96E+01	-3,69E+02
Afval, niet gevaarlijk	kg	2,64E+04	2,27E+04	1,64E+01	1,10E+01	6,79E+03	1,10E+01	3,83E+02	5,11E+01	1,78E+02	-3,79E+03
Afval, gevaarlijk	m³	3,71E+01	2,84E+01	3,88E+02	7,49E+02	1,92E+01	7,49E+02	4,60E+02	2,88E+03	3,62E+03	-1,07E+01
MKI	Euro	7026	17206	48	93	1697	93	48	22	115	-12295

Tabel 10 Milieuprofiel per levenscyclus stalen deur

Te zien is dat een relatief groot deel van de milieubelasting en de waarde van de milieukostenindicator (MKI) van de stalen sluisdeur wordt veroorzaakt door de productiefase (met name door de productie van het staal). Doordat het staal kan worden gerecycled en in een volgende levenscyclus weer primair staal vervangt, staat daar een relatief hoge “uitgespaarde” milieubelasting tegenover. Deze uitgespaarde milieubelasting is weergegeven in kolom “module D”.

Ook het onderhoud aan de sluisdeur geeft een relatief grote bijdrage. De overige levenscyclusfases dragen nauwelijks bij aan het totaal.

Een zwaartepuntenanalyse geeft het milieuprofiel en de bijdrage van individuele materialen en processen weer. Deze is in onderstaand Figuur 14 weergegeven. Veruit de grootste bijdrage aan het milieuprofiel van de sluisdeur wordt veroorzaakt door de productie van het staal en de processen die nodig zijn om vervolgens van het staal kokers of platen te maken (warm walsen en koud vormen). Daarnaast geeft de coating en de diverse transport processen een kleine bijdrage. Processen zoals het lassen en het stralen geeft slechts een geringe bijdrage.



Figuur 14 Zwaartepuntanalyse stalen deur

3.2.2.2 Kanttekeningen NIBE

De schaduwberekening van de MKI-waarde komt 11% lager uit nl. op € 6.246.

Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door:

- NIBE hanteert 'free of burden' voor secundaire grondstoffen (verandering tussen BM 2.0 en 3.0 en niet overal correct verwerkt)
- NIBE hanteert de nieuwe data van de staal federatie, waarvan de MKI ca. 12% lager ligt (over A1-A3) dan het proces steel, unalloyed uit EcoInvent.
- NIBE hanteert een correct invulling van module D m.b.t. vermeden productie van energie en voorkomen productie van primaire grondstoffen.

Zie voor gevoeligheidsanalyses 0.

3.2.2.3 CO₂-emissie

Uit Tabel 10 blijkt de CO₂-emissie voor 4 deuren 70,7 ton bedraagt. De CO₂-emissie waarde uit de schaduwberekening van NIBE bedraagt 47,1 ton CO₂-eq.

3.2.2.4 Circulariteit

Om een bijdrage te leveren aan de circulaire economie moeten de sluisdeuren aan het eind van de "levensduur" op een zo hoogwaardig mogelijke manier worden hergebruikt.

In het geval van staal is het waarschijnlijk (zo lang tijdens de toepassingsduur wordt voorkomen dat staal verloren gaat door bijvoorbeeld afroesten) dat aan het eind van de toepassing nagenoeg al het staal beschikbaar blijft om er opnieuw stalen producten van te maken. Een hoogwaardigere vorm van hergebruik is het opnieuw kunnen toepassen van de deuren in een volgende toepassing.

Om een indruk te geven van het effect op de milieubelasting hiervan is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De volgende situaties en het mogelijke effect ervan op de MKI zijn onderzocht:

1. Standaardscenario: na 100 jaar worden beide sets deuren verschrompt en gerecycled (gebruikt voor de productie van nieuw staal).
2. Scenario 10 jaar extra levensduur. Het (standaard)ontwerp is gebaseerd op 2 sets deuren met een ontwerplevensduur van 60 jaar. Na 100 jaar kunnen beide deuren in totaal nog 20 jaar in hun functie voorzien.
3. Scenario 30 jaar extra levensduur. Wanneer de deuren na 30 jaar worden onderzocht op de werkelijke belastingen die ze hebben ondergaan dan is het denkbaar dat de deuren daarna (onderbouwd) voor een nog langere periode kunnen worden ingezet, bijvoorbeeld 30. In dit scenario is wel het volledige onderhoud meegenomen voor set A.
4. Scenario toepassing als keersluis. Het is denkbaar dat voor de deuren aan het eind van de toepassing wordt gevonden waarin deze aan minder belastingen wordt blootgesteld. Bijvoorbeeld als keersluis. Omdat deze minder vaak open en dicht gaan zou de deur wellicht nog eens 100 jaar mee kunnen gaan.

In de volgende tabel is van deze situaties de berekende MKI-waarde weergegeven en de aanpassing die is gedaan aan de berekening.

Scenario	Aanpassing aan berekening	MKI (€)
Default	-	7026
10 jaar extra levensduur (per set)	17% van de productie en afvalverwerking wordt uitgespaard en doorgeschoven naar de volgende levenscyclus	6009
30 jaar extra levensduur (per set)	37% van de productie en afvalverwerking wordt uitgespaard en doorgeschoven naar de volgende levenscyclus. Het onderhoud aan set A is volledig meegenomen.	5442
toepassing als keersluis	De volledige deur wordt in de volgende levenscyclus. Het onderhoud aan set A is volledig meegenomen.	2392

Het doorgeven van een sluisdeur aan een volgende levenscyclus heeft in potentie een groot effect op de berekende MKI.

Andere mogelijkheden zijn:

- Materiaal recycleren in een nieuw product: Hierbij zouden de onderdelen van de stalen sluisdeur een nieuwe functie krijgen. Een voorbeeld is het gebruik van de kokerprofielen als liggers en gebogen stalen plaat als grondplatte constructie.
- Hoogwaardig recycleren: Het scheiden van de verschillende materialen (hout, staal, coating) en opnieuw gebruiken (bijv. staal en hout).
- Laagwaardig recycleren: De gehele sluisdeur verschrompt en omsmelten.

Het gebruik van bio-based coating kan overwogen worden. Op dit moment is er nog geen goede bio-based coating beschikbaar om stalen producten te conserveren.

Mogelijk wordt dit in nabije toekomst geïntroduceerd, waardoor de milieulast van de coating zal verminderen. De coating (bestaande uit niet biologisch-abbrekbare stoffen) verdwijnt nu immers in de natuur.

Het gebruik van recyclebaar grid voor het stralen van sluisdeuren. Voor het stralen van de sluisdeuren wordt momenteel vaak een niet-recyclebaar grid gebruikt. De milieulast van dit grid kan worden verminderd door tijdens het stralen het grid op te vangen en vervolgens weer te gebruiken voor het stralen van de stalen oppervlaktes. Op deze manier wordt het materiaalverbruik tijdens onderhoud verminderd.

3.2.3 VVK

3.2.3.1 MKI

De MKI-waarde bedraagt €8.737 over 100 jaar voor in totaal 4 deuren (2 hoofddeuren en 2 lichtere reservedeuren). De MKI-waarde voor 4 identieke deuren bedraagt €10.824.

Onbekend is welke aannames en uitgangspunten zijn gehanteerd.

In onderstaande Tabel 11 is de MKI-waarde onderbouwd.

				A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1-C4	D	
				MKI Productiefase	MKI Transport	MKI Bouw/installatie/sanering	MKI Gebruik en Onderhoudsfase	MKI Sloop- en Verwijderingsfase	MKI Milieulasten en -voorwaarden van recycling en product hergebruik	Bron
Hoofddeuren		2 deur(en)	11718 kg	€ 5.412,41	€ 4.927,56	€ 11,53	€ 271,47	€ 226,53	€ 32,51	€ 57,15
Har - VVK	Biobased polyester resin	543 kg	€ 218,99	€ 200,91	€ 0,42	€ 10,48	€ 0,00	€ 1,29	€ 0,00	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	1163 kg	€ 275,63	€ 247,61	€ 0,51	€ 22,44	€ 0,00	€ 2,76	€ 1,91	Ecoinvent
Har - Constructieve Vulling	Resin Infusion	543 kg	€ 76,56	€ 63,76	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	PU rigid foam	85 kg	€ 95,04	€ 63,76	€ 0,07	€ 1,64	€ 0,00	€ 0,20	€ 20,37	Ecoinvent
	Biobased polyester resin	93 kg	€ 36,71	€ 34,46	€ 0,07	€ 1,80	€ 0,00	€ 0,22	€ 0,15	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	199 kg	€ 47,28	€ 42,45	€ 0,16	€ 3,85	€ 0,00	€ 0,47	€ 0,33	Ecoinvent
	Resin Infusion	93 kg	€ 12,13	€ 12,13	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
Regel - VVK	Biobased polyester resin	2555 kg	€ 1.006,93	€ 945,38	€ 1,39	€ 49,31	€ 0,00	€ 5,06	€ 4,19	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	5472 kg	€ 1.296,97	€ 1.165,15	€ 4,27	€ 105,61	€ 0,00	€ 12,97	€ 8,98	Ecoinvent
	Resin Infusion	2555 kg	€ 360,27	€ 360,27	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	PU rigid foam	163 kg	€ 182,21	€ 122,24	€ 0,13	€ 3,15	€ 0,00	€ 0,39	€ 56,31	Ecoinvent
	Biobased polyester resin	179 kg	€ 70,38	€ 66,07	€ 0,14	€ 3,45	€ 0,00	€ 0,42	€ 0,29	Polynt Composites
Regel - Vulling	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	382 kg	€ 90,65	€ 81,43	€ 0,30	€ 7,38	€ 0,00	€ 0,91	€ 0,63	Ecoinvent
	Resin Infusion	179 kg	€ 25,18	€ 25,18	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	Recycled PET foam Armacell	920 kg	€ 410,24	€ 249,75	€ 0,41	€ 10,04	€ 0,00	€ 1,23	€ 148,81	Armacell
	R-HDPE (aanslagen)	344 kg	€ 139,01	€ 189,77	€ 0,27	€ 6,64	€ 0,00	€ 0,81	€ 59,48	Ecoinvent
	Tiecoat glas	301 kg	€ 71,30	€ 64,13	€ 0,23	€ 5,81	€ 0,00	€ 0,71	€ 0,40	Dispensheimisbrug
Wriifstijl - Stootranden	Tiecoat glas	241 kg	€ 446,720	€ 446,92	€ 0,19	€ 4,65	€ 0,00	€ 0,57	€ 0,40	Ecoinvent
	Hardhout (wriifstijlen)	556 kg	€ 5,12	€ 2,003	€ 0,64	€ 10,74	€ 3,57	€ 1,32	€ 16,25	Dubocals (Azobel)
	Draaipunt	800 kg	€ 326,82	€ 372,62	€ 1,24	€ 22,15	€ 163,41	€ 1,90	€ 234,40	Ecoinvent

				A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1-C4	D	
				MKI Productiefase	MKI Transport	MKI Bouw/installatie/sanering	MKI Gebruik en Onderhoudsfase	MKI Sloop- en Verwijderingsfase	MKI Milieulasten en -voorwaarden van recycling en product hergebruik	Bron
Reserve deuren		2 deur(en)	9476 kg	€ 3.324,83	€ 3.242,08	€ 8,17	€ 189,60	€ -	€ 22,46	€ -137,49
Har - VVK	Biobased polyester resin	335 kg	€ 131,90	€ 123,83	€ 0,20	€ 5,40	€ 0,00	€ 0,79	€ 0,55	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	717 kg	€ 169,89	€ 152,62	€ 0,56	€ 13,83	€ 0,00	€ 1,70	€ 1,18	Ecoinvent
Har - Constructieve Vulling	Resin Infusion	235 kg	€ 47,19	€ 47,19	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	PU rigid foam	97 kg	€ 107,79	€ 72,31	€ 0,08	€ 1,96	€ 0,00	€ 0,23	€ 33,31	Ecoinvent
	Biobased polyester resin	106 kg	€ 41,63	€ 39,09	€ 0,08	€ 2,04	€ 0,00	€ 0,25	€ 0,17	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	226 kg	€ 53,63	€ 48,17	€ 0,18	€ 4,37	€ 0,00	€ 0,54	€ 0,37	Ecoinvent
	Resin Infusion	106 kg	€ 14,20	€ 14,20	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
Regel - VVK	Biobased polyester resin	1797 kg	€ 708,08	€ 664,79	€ 1,40	€ 34,08	€ 0,00	€ 4,26	€ 2,50	Polynt Composites
	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	3848 kg	€ 912,04	€ 819,33	€ 3,00	€ 74,27	€ 0,00	€ 12,12	€ 6,31	Ecoinvent
	Resin Infusion	1797 kg	€ 253,24	€ 253,24	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	PU rigid foam	67 kg	€ 75,07	€ 50,37	€ 0,05	€ 1,30	€ 0,00	€ 0,16	€ 23,20	Ecoinvent
	Biobased polyester resin	74 kg	€ 29,00	€ 27,22	€ 0,06	€ 1,42	€ 0,00	€ 0,17	€ 0,12	Polynt Composites
Regel - Vulling	Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	158 kg	€ 37,35	€ 33,55	€ 0,12	€ 3,04	€ 0,00	€ 0,37	€ 0,26	Ecoinvent
	Resin Infusion	74 kg	€ 10,37	€ 10,37	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Life Cycle Inventory of polymer Composites
	Recycled PET foam Armacell	352 kg	€ 272,85	€ 169,15	€ 0,27	€ 6,80	€ 0,00	€ 0,84	€ 100,70	Armacell
	R-HDPE (aanslagen)	344 kg	€ 139,01	€ 189,77	€ 0,27	€ 6,64	€ 0,00	€ 0,81	€ 59,48	Ecoinvent
	Tiecoat glas	112 kg	€ 154,623	€ 151,93	€ 0,09	€ 2,16	€ 0,00	€ 0,26	€ 0,18	Dispensheimisbrug
Wriifstijl - Stootranden	Tiecoat glas	0 kg	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Ecoinvent
	Tiecoat vinylster	0 kg	€ 0,000	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	Ecoinvent
	Hardhout (wriifstijlen)	445 kg	€ -1,24	€ 1,60	€ 0,51	€ 8,59	€ 0,00	€ 1,05	€ -13,00	Dubocals (Azobel)
	Draaipunt	800 kg	€ 326,82	€ 372,62	€ 1,24	€ 22,15	€ 0,00	€ 1,90	€ 234,40	Ecoinvent

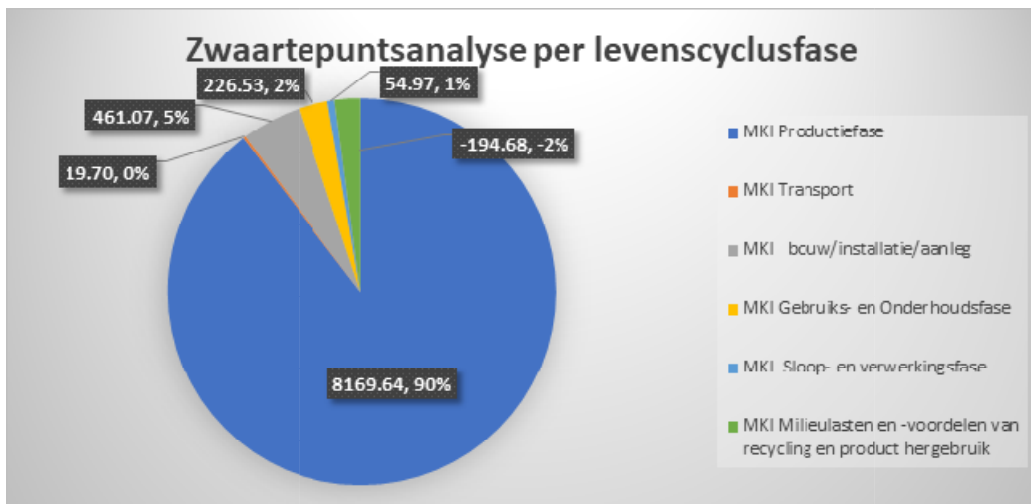
Tabel 11 MKI waarde onderbouwing VVK-deuren

Er is geen uitsplitsing naar milieueffecten aangeleverd.

Zwaartepuntanalyse

Zoals in onderstaande Tabel 12 is te zien, komt de grootste bijdrage aan de MKI per deur (90%) van de productiefase.

De bouw en installatie draagt als tweede nog 5% bij.

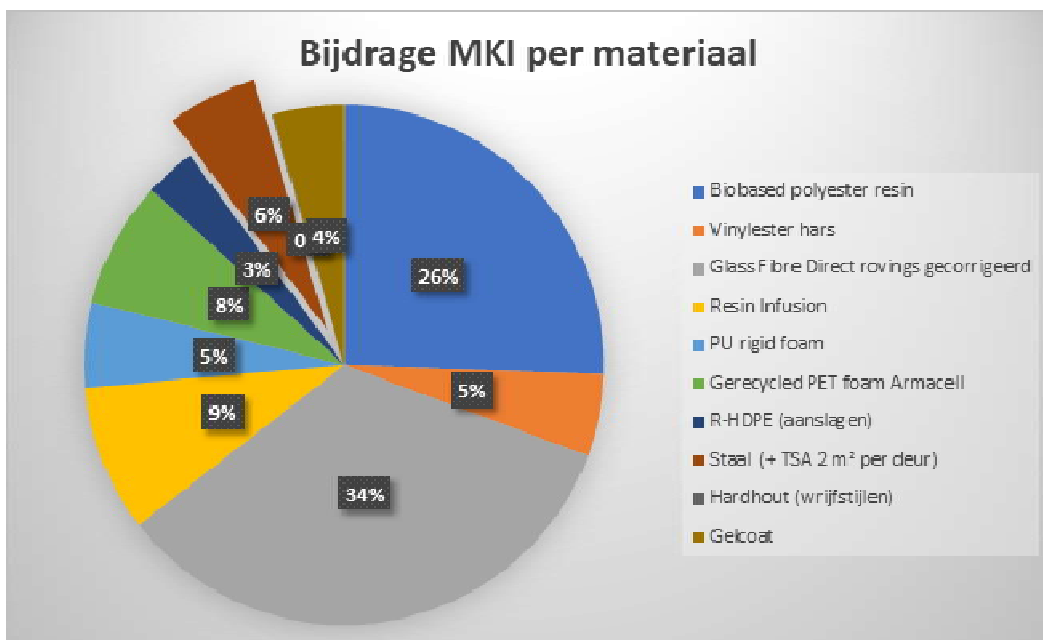


Tabel 12 Zwaartepuntanalyse LCA per levensfase VVK-deuren

Als we naar de onderverdeling per materiaal kijken, zie Tabel 13, zien we dat de top 5 aan bijdragers aan de milieu impact bestaat uit:

1. Glasvezel direct roving (34%)
2. Biobased polyester (26%)
3. Resin infusion (proces aandeel harsinjectie) (9%)
4. Gerecycled PET-schuim (8%)
5. Staal en TSA (6%)

Gezamenlijk vormen zij 83% van de MKI van de totale MKI.



Tabel 13 Zwaartepuntanalyse LCA per materiaal VVK-deuren

Voor composiet staat de technologie voor recycling nog in de kinderschoenen. Dit komt mede doordat de technologie nog relatief jong is en de aandacht en waardering voor recycling pas enkele jaren geleden is ontstaan. VVK kent daarom geen voordelen voor Module D toe. De totale bijdrage van module D is €194, slechts 2.2% van het totaal. Er wordt gewerkt met ontwikkeling van vezels, harsen en

plastics om circulariteit te verbeteren. Dit is nog in ontwikkeling en daarom niet in de berekening meegenomen.

Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheid is direct te relateren aan de eerdergenoemde top 5 aan bijdragers. Het grootste aandeel aan de MKI zit in de grondstoffen en productie van de hars en de verwerking van de hars.

Een 5% toename of afname van de hoeveelheid hars, betekent een toename of afname van $0.05 \times (\text{bijdrage hars} + \text{resin infusion} = 31\%) = 1.55\%$.

Een 5% toename of afname van de hoeveelheid glasvezel leidt tot een toename of afname van $0.05 \times 34\% = 1.7\%$.

Het PET-schuim is in dit scenario niet hergebruikt, module D heeft een positieve bijdrage van 249 EUR MKI = 2.8%.

Herwinnen en recycling van PET-schuim zal zorgen voor een negatieve bijdrage en naar verwachting een besparing van meer dan 3%.

3.2.3.2 Kanttekeningen NIBE

De schaduwberekening van de MKI-waarde komt 13% lager uit nl. op € 7.596.

Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door:

- NIBE hanteert 'free of burden' voor secundaire grondstoffen (verandering tussen BM 2.0 en 3.0 en niet overal correct verwerkt)
 - NIBE hanteert de nieuwe data van de staal federatie, waarvan de MKI ca. 12% lager ligt (over A1-A3) dan het proces steel, unalloyed uit EcoInvent.
 - NIBE hanteert een correct invulling van module D m.b.t. vermeden productie van energie en voorkomen productie van primaire grondstoffen.
- Zie voor gevoeligheidsanalyses 3.1.3.

3.2.3.3 CO₂-emissie

Daar de MKI niet is onderbouwd naar de verschillende milieueffecten, is er geen CO₂-emissie waarde te bepalen.

De CO₂-emissie waarde volgens de schaduwberekening van NIBE bedraagt 75,3 ton CO₂-eq.

3.2.3.4 Circulariteit

'Einde leven' kan de deur vermalen worden tot VVK-granulaat (R-VVK).

In combinatie met bijvoorbeeld een biobased hars kunnen er met het materiaal brugdekplanken of beschoeiingen gerealiseerd worden.

Op dit moment is de sluisdeur nog niet 100% circulair zonder waardeverlies; dat betekent dat er innovaties nodig zijn om dit doel te halen. De markt is gedreven deze ontwikkelingen uit te voeren, als er zicht is op omzet om investeringen terug te kunnen verdienen. Belangrijk is ook dat een opdrachtgever aangeeft dat men openstaat voor nieuwe oplossingen.

Als alternatief kan VVK verbrand worden in een cementovenroute, waar de hars als energiebron fungeert en het glas een grondstof vormt van het beton. R-VVK is een meer circulaire route. De voorkeursmethode kan met circulariteitscriteria gestimuleerd worden.

3.2.4 Hybride

3.2.4.1 MKI

De MKI-waarde bedraagt € 13.117 over 100 jaar voor in totaal 4 deuren.

Sweco, Fibercore en RHDHV voor de MKI van vezelversterkte kunststof dezelfde uitgangspunten gehanteerd. Deze zijn echter niet bekend, zie 3.2.3.1.

Naast deze uitgangspunten zijn onderstaande aanvullende uitgangspunten geldend.

- Op het moment van end of life wordt het materiaal gegraneerd en vervoerd.
- We voegen het "granulator" proces en het "Transport" proces toe uit Dubocalc (Bron granulator: Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites (Norshah Aizat Shuaib*, Paul Tarisai Mativenga)).

In onderstaande Figuur 15 is de MKI-waarde onderbouwd.

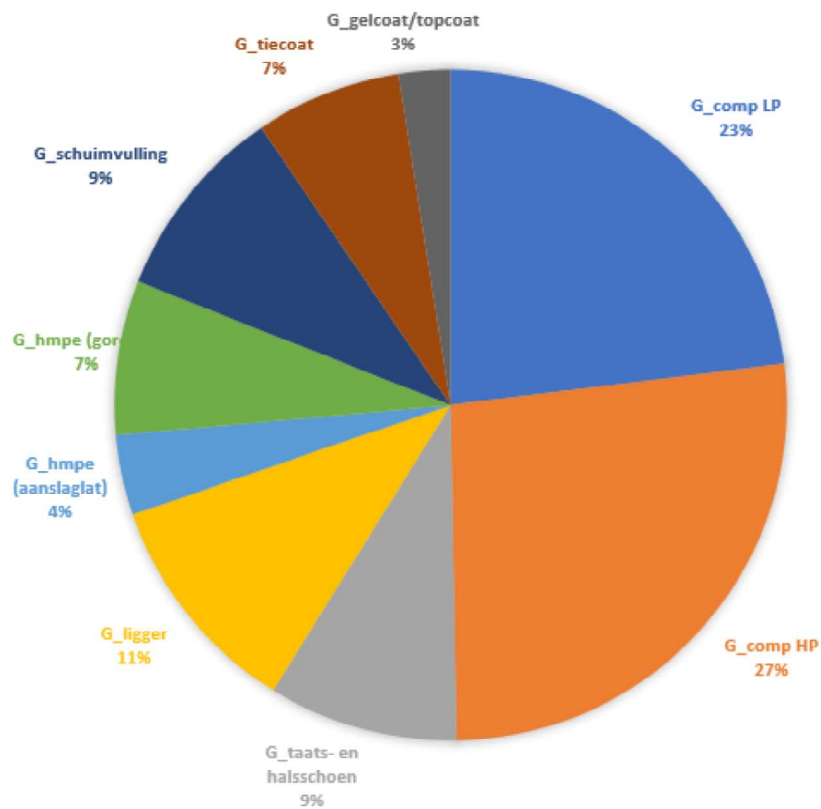
1 st. sluisdeur H = 6630 mm B 7350 mm			MKI Totaal	MKI Productiefase	MKI Transport	MKI bouw/installatie/aanleg	MKI Gebruiks- en Onderhoudsfase	MKI Sloop- en Verwerkingsfase	MKI Milieulasten en -voordelen van recycling en product hergebruik
	Materiaal	Gewicht (kg)							
composiet lijfplaten		2102,82 kg	€ 840,98						
	45% Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	953,50 kg	€ 225,99	€ 203,02	€ 0,74	€ 18,40	€ 0,00	€ 2,26	€ 1,56
	55% Biobased polyester resin	1149,31 kg	€ 452,93	€ 425,25	€ 0,90	€ 22,18	€ 0,00	€ 2,72	€ 1,89
	55% Resin Infusion	1149,31 kg	€ 162,05	€ 162,05	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
composiet huidplaten		3087,64 kg	€ 994,45						
	71% Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	2206,55 kg	€ 522,98	€ 469,83	€ 1,72	€ 42,59	€ 0,00	€ 5,23	€ 3,62
	29% Biobased polyester resin	881,09 kg	€ 347,23	€ 326,00	€ 0,69	€ 17,00	€ 0,00	€ 2,09	€ 1,45
	29% Resin Infusion	881,09 kg	€ 124,23	€ 124,23	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
schuimvulling	PU rigid foam	224,73 kg	€ 255,85	€ 168,34	€ 0,19	€ 4,33	€ 0,00	€ 5,48	€ 77,55
stalen liggers	Stalen onderdelen	6995,19 kg	€ 387,14	€ 1.690,59	€ 16,34	€ 0,00	€ 0,00	€ 2,78	€ -1.324,28
Tiecoat		171,50 kg	€ 200,61						
	56% Glass Fibre Direct rovings gecorrigeerd	95,39 kg	€ 22,61	€ 20,31	€ 0,07	€ 1,84	€ 0,00	€ 0,23	€ 0,16
	44% Bisphenol A epoxy based resin vinyl ester Europe	76,12 kg	€ 167,27	€ 139,29	€ 0,06	€ 1,47	€ 0,00	€ 0,18	€ 26,26
	44% Resin Infusion	76,12 kg	€ 10,73	€ 10,73	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Gelcoat/topcoat	Gelcoat	38,00 kg	€ 65,65	€ 51,69	€ 0,03	€ 0,73	€ 0,00	€ 0,09	€ 13,11
	Resin Infusion	38,00 kg	€ 5,36	€ 5,36	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
hmpe (aanslaglat)	R-HDPE (gordingen)	231,53 kg	€ 98,05	€ 98,05	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
hmpe (wrijfgording)	R-HDPE (gordingen)	502,74 kg	€ 212,89	€ 212,89	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
taats- en halsschoen	RVS	282,00 kg	€ 218,31	€ 634,30	€ 0,47	€ -19,68	€ 0,00	€ -396,79	€ 0,00
1 stuks sluisdeur totaal MKI		13636,16 kg	€ 3.279,27	€ 4.741,93	€ 21,21	€ 88,87	€ 0,00	€ -375,73	€ -1.198,69
4 stuks sluisdeuren totaal MKI		54544,64 kg	€ 13.117,09	€ 18.967,73	€ 84,84	€ 355,47	€ 0,00	€ -1.502,92	€ -4.794,75

Figuur 15 MKI-onderbouwing hybride deuren

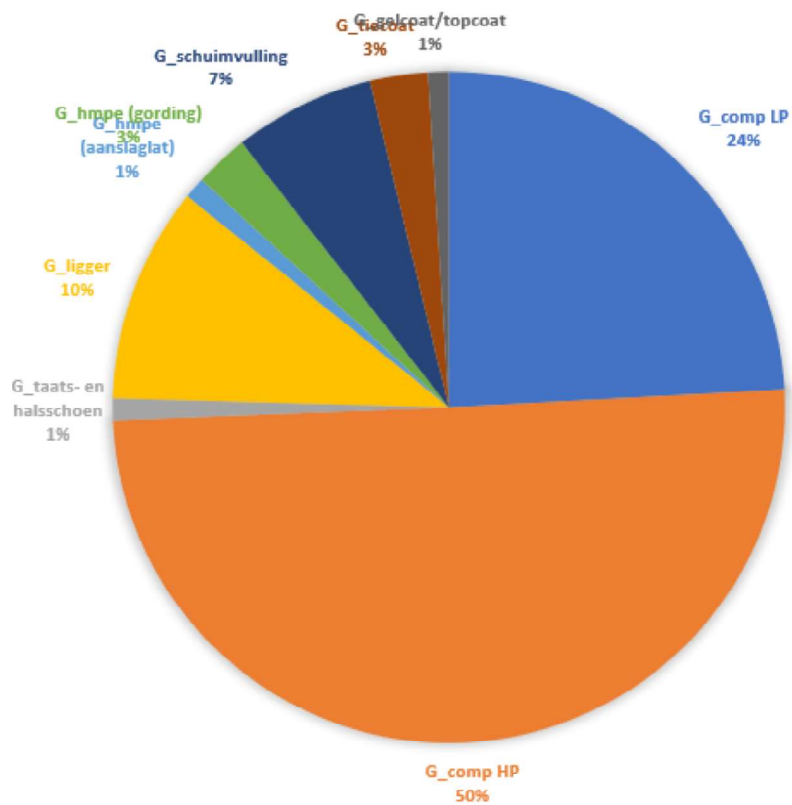
Een complete bruikbare uitsplitsing naar milieueffecten is niet aangeleverd.

Zwaartepuntanalyse

In het dynamisch rekenmodel is een zwaartepuntanalyse toegevoegd van de objecten in alle fases (totale MKI). In onderstaande Figuur 16 en Figuur 17 is de zwaartepuntanalyse voor de kleinste en grootste sluisdeur weergegeven.



Figuur 16 Zwaartepuntanalyse kleinste hybride deur



Figuur 17 Zwaartepuntanalyse grootste hybride deur

Gevoeligheidsanalyse

Uit bovenstaande zwaartepuntanalyses volgen onderstaande bandbreedtes tussen de kleinste deur en de grootste deur:

- Composiet lijf- en huidplaten 50% - 74%
- Stalen liggers 11% - 10%
- Schuimvulling 9% - 7%
- Taats- en halsschoen 9% - 1%
- Gording en aanslaglat 11% - 4%
- Tiecoat en gel/topcoat 10% - 4 %.

Het materiaal VVK bepaalt voor 50% - 74% de totale MKI-waarde. Een te gunstige of te ongunstige aanname in de LCA van VVK leidt daardoor tot een relatief grote afwijking.

3.2.4.2 Kanttekeningen NIBE

De schaduwberekening van de MKI-waarde komt 13% lager uit nl. op € 11.419. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door:

- NIBE hanteert 'free of burden' voor secundaire grondstoffen (verandering tussen BM 2.0 en 3.0 en niet overall correct verwerkt)
- NIBE hanteert de nieuwe data van de staal federatie, waarvan de MKI ca. 12% lager ligt (over A1-A3) dan het proces steel, unalloyed uit EcoInvent.
- NIBE hanteert een correct invulling van module D m.b.t. vermeden productie van energie en voorkomen productie van primaire grondstoffen. Zie voor gevoeligheidsanalyses 3.1.3.

3.2.4.3 CO₂-emissie

Daar de milieueffecten niet compleet zijn aangeleverd, is er geen CO₂-emissie waarde te bepalen.

De CO₂-emissie waarde volgens de schaduwberekening van NIBE bedraagt 117,0 ton CO₂-eq.

3.2.4.4 Circulariteit

Wanneer we kijken naar het moment einde levensduur en de opties die er dan zijn voor de deur en zijn materialen is daarvoor de ladder van Lansink de basis voor de afvalhiërarchie en afvalwetten.

Trede A: Preventie

Hergebruik of recycling wordt pas relevant aan het einde van de levensduur. De preventie van afval, "het zo lang mogelijk niets doen", is feitelijk de hoogste vorm van circulariteit. Er zijn dan geen inspanningen noodzakelijk voor transport, afbraak, verbranding, etc. Door de hoge levensduur van de hybride sluisdeuren wordt het vervangen of verplaatsen zo lang mogelijk uitgesteld, dit sluit hier perfect bij aan.

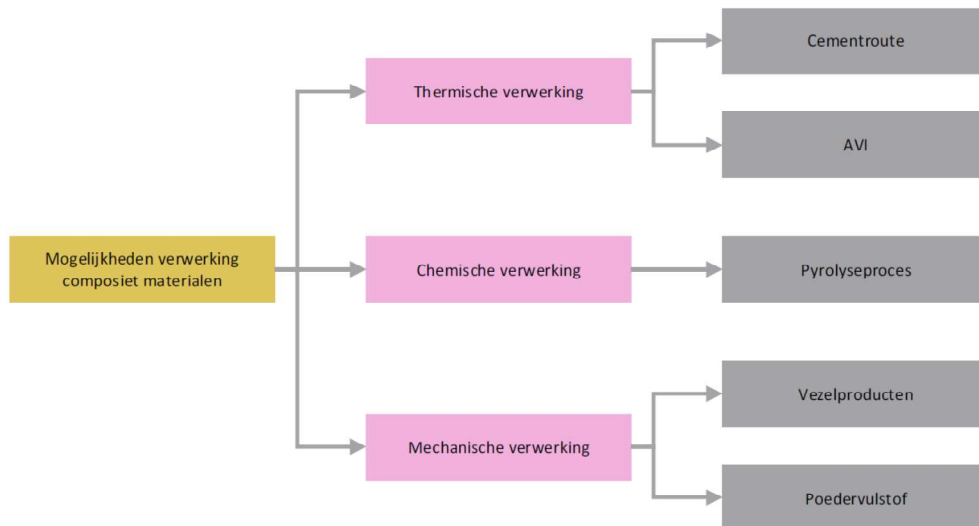
Trede B: Hergebruik

Naast mogelijke recycling van de materialen dient ook gekeken te worden naar herbruikbaarheid van de sluisdeur als geheel. De verwachting is dat de sluisdeuren ook na 100 jaar nog steeds constructieve waarden hebben en in een nieuwe functie weer kunnen worden ingezet. Voorbeelden kunnen zijn fiets- en voetgangersbruggen, deuren of als basis voor kunstwerken.

Trede C en D: Recycling van materialen & terugwinnen van energie

Wanneer hoogwaardig hergebruik van de deur niet mogelijk is zetten wij in op zo hoogwaardig mogelijke recycling van de materialen.

Composiet materiaal kan via verschillende methoden worden hergebruikt. Figuur 18 geeft een overzicht van de mogelijkheden.



Figuur 18 Hergebruiksmogelijkheden hybride deuren

Op het moment van schrijven is de gangbare route voor het recyclen van composiet via thermische verwerking in een cementoven of mechanische verwerking tot vulstof of vezelproducten. Dit is een relatief eenvoudig proces. Wat betreft de hars staat het scheiden van de hars en vezels in VVK nog in de kinderschoenen. Wel is het op laboratoriumschaal mogelijk en is het aannemelijk dat bij einde levensduur van de sluisdeuren deze techniek verder is ontwikkeld en beschikbaar is.

Staal als materiaal is bijzonder circulair en voor vrijwel 100% herbruikbaar.

De technische eisen die aan het kernmateriaal (schuim) in de deuren gesteld worden, zijn beperkt. Feitelijk hoeft het slechts tijdens de productiefase te presteren, en mag het daarna al degraderen, mits dit niet tot bijvoorbeeld gasvorming leidt die een impact heeft op de prestatie van de deur.

Het moet mogelijk zijn om deze relatief laagwaardige component te vervangen door een klimaatneutraal alternatief.

Er zijn al technieken om houtchips met hars te combineren tot een nieuw hout-gebaseerd product. Dat is weliswaar zwaarder dan polyurethaan-schuim, maar dat is juist voor toepassing in sluisdeuren geen bezwaar. Bij beide genoemde alternatieven is het belangrijk dat RWS de afweging maakt tussen kosten, prestatie, innovatief karakter en circulariteit.

Een toekomstig mogelijk alternatief voor het hoogwaardig recyclen van de composietdelen van de hybride deur is verwerking middels het Pyrolyseproces, volledig conform trede C van de ladder van Lansink. Deze techniek is momenteel volledig functioneel en de verwachting is dat dit binnen afzienbare tijd ook voor de recycling van composiet op grote schaal wordt toegepast. Bij het pyrolyse proces wordt in een pyrolyseoven de hars moleculair afgebroken en gescheiden van de glasvezels. Hierdoor kan het glas met maximaal rendement worden teruggewonnen en de afgebroken hars hoogwaardig worden hergebruikt als grondstof bij de

productie van nieuwe hars. Hiermee is de kringloop van composiet gesloten en daarmee volledig circulair.

Door de ontwikkeling en de verdere verkenning naar de kwaliteiten en circulariteit van VVK en de duurzame eigenschappen van staal en schuim is de verwachting dat klimaatneutrale hybride deuren binnen de levensduur van de eerste geïnstalleerde deuren een werkelijkheid worden.

3.3 LCC

3.3.1 Inleiding

Hieronder is een samenvatting gemaakt van de LCC-rapportages van de 4 partijen. De basis hiervoor wordt gevormd door het ontwerp en het beheer- en onderhoudsconcept gedurende de levensduur van 100 jaar, zie 3.1. Daarbij worden de resultaten voorzien van kanttekeningen, gevoeligheidsanalyses en een schaduwberekening van KODOS en RHDHV.

3.3.2 Aanvullende aannames en uitgangspunten

In aanvulling op de ontwerpbeschrijvingen zijn de volgende aannames en uitgangspunten voor de ramingen aangehouden.

Hout:

Er zijn geen aanvullende aannames en/of uitgangspunten geformuleerd.

Staal:

De gehanteerde opslagpercentages zijn gebaseerd op ervaring en best practices vanuit andere vergelijkbare projecten.

VVK:

De eenheidsprijzen van leveren en aanbrengen van het materiaal zijn afgestemd met de leverancier. De eenheidsprijzen van afmontage en aanbrengen zijn ingeschat op basis van ervaring. De opslagpercentages zijn ingeschat op basis van de stand en diepgang van het ontwerp maar hierbij is ook gekeken naar de materiaalkeuze. Voor de vergelijkbaarheid met de andere materialen is naast een concept met 2 hoofddeuren en lichtere reservedeuren ook een concept met 4 identieke deuren doorgerekend.

Hybride:

Er zijn geen aanvullende aannames en uitgangspunten geformuleerd.

3.3.3 Resultaten en analyse deterministische ramingen

Investeringskosten

In onderstaande Tabel 14 zijn de resultaten van de deterministische ramingen van de investeringskosten (aanleg) weergegeven en zijn de verschillen geanalyseerd. Deze kosten bestaan uit twee sets deuren om de reservedeuren gereed te hebben, verder zijn er typeafhankelijke kosten, zoals een opslagloods voor de deuren. De waardes zijn weergegeven in € excl. BTW, prijspeil 2018.

	Hout	Staal	VVK	VVK (variant lichtere reserve- deuren)	Hybride
Benoemde directe bouwkosten	227.344	257.345	299.922	256.209	319.063
Nader te detailleren	22.734 (10%)	25.734 (10%)	29.992 (10%)	25.621 (10%)	31.906 (10%)
Indirecte bouwkosten	109.409 (44%)	77.536 (27%)	79.958 (24%)	68.304 (24%)	94.790 (27%)
Risico's bouwkosten	0	18.031 (5%)	40.987 (10%)	35.013 (10%)	44.576 (10%)
Engineeringskosten	23.800 (7%)	72.123 (20%)	118.863 (29%)	101.539 (26%)	71.720 (16%)
Risico's engineeringskosten	0	3.605 (5%)	0	0	
Overige bijkomende kosten	10.785 (3%)	18.031 (5%)	12.296 (3%)	10.504 (3%)	11.144 (3%)
Risico's overige bijkomende kosten	539	902 (5%)	0	0	0
Investeringskosten	394.612	473.308	582.018	497.190	573.198
Vershil hout-staal		+78.696 (20%)			
Vershil staal-VVK			+108.710 (23%)		
Vershil VVK-VVK lichtere reservedeuren				-84.828 (15%)	
Vershil VVK-Hybride					-8.820 (2%)

Tabel 14 Deterministische investeringsramingen

Opvallend bij hout is het hoge percentage aan indirecte kosten en nul waarden voor risico's. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een andere invulling van de ramingssystematiek: het risicopercentage in de indirecte kosten is relatief hoog (10%) en de risicopercentages verderop zijn nul.

Verder vallen de soms forse verschillen in engineeringskosten op, een verklaring is hier niet direct voor de achterhalen.

Beheer- en onderhoudskosten

In onderstaande Tabel 15 zijn de resultaten van de deterministische ramingen van de levensduurkosten (beheer en onderhoud over 100 jaar) weergegeven en zijn de verschillen geanalyseerd. De waardes zijn weergegeven in € excl. BTW, prijspeil 2018, discontovoet 3%.

	Hout	Staal	VVK en VVK met lichtere reservedeuren	Hybride
Benoemde directe levensduurkosten	335.431	242.160	82.434	64.500
Nader te detailleren	33.543 (10%)	24.216 (10%)	8.243 (10%)	6.450 (10%)
Indirecte levensduurkosten	161.426 (44%) incl. 46.122 engineering- kosten	90.550 (34%) incl. 16.919 engineering- kosten en 1.692 overige bijkomende kosten	24.730 (27%) incl. 4.439 engineering- kosten	32.679 (46%) incl. 13.517 engineering- kosten
Risico's levensduurkosten	65.350 (aanva- ringsrisico+10 % niet benoemde risico's)	35.693 (10% niet benoemde risico's)	11.541 (10% niet benoemde risico's)	38.248 (aanva- ringsrisico+10% niet benoemde risico's)
Levensduurkosten	595.749	392.618	126.948	145.130
Vershil hout-staal		-203.131 (-34%)		
Vershil staal-VVK			-265.670 (-68%)	
Vershil VVK-Hybride				+18.182 (+14%)
Contante waarde	173.907	109.154	63.011	46.308

Tabel 15 Deterministische levensduurkosten ramingen

Hout-Staal: grootste deel (46%) wordt veroorzaakt door veel hogere directe kosten (jaarlijks reinigen en vervanging na 50 jaar), (44%) wordt veroorzaakt door indirecte kosten.

Staal-VVK: grootste deel (60%) wordt veroorzaakt door veel hogere directe kosten (onderhoud conservering), opslagpercentage is 8% hoger (hogere engineeringkosten)

VVK-Hybride: grootste deel verschillen in risico's(aanvaarrisico) en directe bouwkosten (5 versus 20-jaarlijkse inspectie) en engineeringkosten.

Projectkosten

In onderstaande Tabel 16 zijn de resultaten van de deterministische ramingen van de projectkosten (aanleg en beheer-en onderhoud) weergegeven incl. de verschillen. De waardes zijn weergegeven in € excl. BTW, prijspeil 2018 en discontovoet 3%. De projectkosten bestaan uit de investeringskosten uit Tabel 14 en de levensduurkosten uit Tabel 15. De contante waarde bestaat uit de investeringskosten uit Tabel 14 en de contante waarde uit Tabel 15.

	Hout	Staal	VVK	VVK (variant lichtere reserve-deuren)	Hybride
Projectkosten	990.361	865.926	709.560	624.138	718.328
Contante waarde	567.518	582.462	645.605	560.201	619.506
CW-Verschil hout-staal		+14.944 (3%)			
CW Verschil staal-VVK			+63.143 (11%)		
CW-verschil VVK-VVK met lichtere reservedeuren				-85.404 (13%)	
CW Verschil VVK-Hybride					-26.099 (4%)

Tabel 16 Deterministische projectkosten ramingen

3.3.4 Resultaten en analyse probabilistische ramingen

Uit de probabilistische ramingen op het niveau van definitief ontwerp (DO) van de 4 partijen blijken de volgende investering- en levensduurkosten in duizend euro's, **incl.** BTW, prijspeil januari 2018, discontovoet 3%. (Tabel 17). Er blijkt veel af te hangen of er met of zonder discontovoet wordt gerekend.

Kosten	Hout	Staal	VVK	VVK (variant lichtere reservedeuren)	Hybride
Investeringskosten					
Investeringskosten met 70% zekerheid	€ 425-594	€ 472-721	€ 579-825	€ 495-707	€ 556-834
Verwachtingswaarde	€ 508	€ 597	€ 703	€ 601	€ 699
Variatiecoëfficiënt	16%	19%	17%	17%	18%
Levensduurkosten					
Levensduurkosten excl. vervanging na 100 jaar met 70% zekerheid	€ 640-773	€ 394-614	€ 128-180	€ 128-180	€ 116-187
Verwachtingswaarde	€ 706	€ 504	€ 154	€ 154	€ 175
Variatiecoëfficiënt	9%	20%	16%	16%	60%
Contante waarde onderhoud en vervanging na 100 jaar	€ 194	€ 140	€ 77	€ 76	€ 56
Totaal					
Projectkosten met 70% zekerheid	€ 1.070 – 1.358	€ 867-1.335	€ 707-1.005	€ 622-887	€ 690-1.062
Verwachtingswaarde	€ 1.214	€ 1.101	€ 858	€ 755	€ 874
Variatiecoëfficiënt	11%	20%	16%	17%	21%
Contante Waarde	€ 702	€ 738	€ 780	€ 677	€ 754
Projectkosten					
Verschil hout-staal		+€ 36(5%)			
Verschil staal-VVK				-€ 61(8%)	
Verschil VVK-Hybride					+€ 77(11%)

Tabel 17 Probabilistische LCC-ramingen deuren

De ramingen laten zien dat de vereiste variatiecoëfficiënt voor een DO-raming van 15% alleen door hout gehaald wordt. Vezel versterkte kunststof met lichtere reservedeur scoort het beste bij zowel de projectkosten als de contante waarde. Met een volwaardige reservedeur is voor de contante waarde hout het beste, terwijl vezel versterkte kunststof het beste is qua totale projectkosten. De initiële kosten liggen bij hout het laagst, maar doordat de deuren vaker vervangen moeten worden zijn de totale projectkosten hoog.

4 Afweging

4.1 Beschrijving methodiek

De volgende 10 afwegingsaspecten zijn genoemd in de vraagspecificatie, zijn besproken met de 4 partijen in de werksessies met de 4 partijen en als aanvulling daarop is de CO₂-emissie toegevoegd om deze te toetsen aan de Rijksdoelen. En deze aspecten worden als volgt gescoord met als input de waarden in het vorige hoofdstuk. Omdat er voor de variant identieke VVK-deuren geen CO₂-emissie is bepaald is dit criterium verder buiten beschouwing gelaten. Er is een afwegingsmodel opgesteld, zie bijlage 6. Hieronder is dat model toegelicht.

4.1.1 Afwegingaspecten en wijze van scoren

1. Prestatie:
 - a. SLA: betrouwbaarheid en beschikbaarheid voor de scheepvaart, 100% is beste score, apart is de variant van VVK met lichtere reservedeuren ook meegenomen met de kanttekening dat de andere partijen niet de gelegenheid hebben gehad om hiervoor een ontwerp en analyse te maken.
 - b. LCA: Klimaat-milieu impact: laagste MKI-waarde van de casus krijgt de beste score; omdat niet alle partijen het dynamisch rekenmodel op dezelfde manier hebben opgesteld is dit niet verder beschouwd; apart is de variant van VVK met lichtere reservedeuren ook meegenomen met de kanttekening dat de andere partijen niet de gelegenheid hebben gehad om een LCA hiervoor te berekenen; de MKI waarden van de partijen zijn gehanteerd en de schaduwberekeningen van NIBE zijn gehanteerd voor het risicoprofiel ook mede omdat niet alle aanpassingen van partijen door NIBE zijn verwerkt.
 - c. Circulariteit: hoe beter de deur nu en in de toekomst circulair is of te maken is, hoe hoger de score, omdat verre toekomst (100 jaar) nog wat ongewis is maar waarschijnlijk bij alle materialen nagenoeg gelijk en dus niet onderscheidend, is de score bepaald a.d.h.v. de circulariteit bij aanleg dus met andere woorden hoe meer hernieuwbare grondstoffen en/of hergebruik van vrijkomende bouwstoffen hoe hoger de score.
 - d. Standaardisatie: in welke mate is het ontwerp, en daarvan afgeleide MKI- waarde en CO₂-emissie, dusdanig gestandaardiseerd dat het ook toepasbaar is voor andere waarden van de bepalende parameters doorvaartbreedte en verval, hoe groter de reikwijdte hoe hoger de score.
 - e. Toekomstbestendigheid, hoe beter bestendig en/of adaptief voor nieuwe ontwikkeling des te hoger de score; de score is vanwege die diversiteit aan beschrijvingen van dit aspect in hoofdstuk 3 meer ingeschat.
 - f. Effect op andere sluisonderdelen, uit hoofdstuk 3 blijkt dat vooral slijtage van de draaipunten bepalend is en die hangt grotendeels weer af van het deurgewicht minus het opdrijvend vermogen. Daarom zijn dit aspect vergeleken: minste resulterende druk levert de hoogste score.
 - g. Effect op architectonische vormgeving bijvoorbeeld beperkend voor ontwerp-vrijheid: uit hoofdstuk 3 is lastig een heldere vergelijking te

maken dus is meer ingeschat; beste scoort minste negatieve of meeste positieve effect.

2. LCC: laagste waarde voor de contante waarde over 100 jaar van aanleg, beheer- en onderhoud van de ontworpen casus levert hoogste score op; apart is de variant van VVK met lichtere reservedeuren ook meegenomen met de kanttekening dat de andere partijen niet de gelegenheid hebben gehad om een LCC hiervoor te berekenen; de LCC waarden van de partijen zijn gehanteerd en de schaduwberekeningen van KODOS zijn gehanteerd voor het risicoprofiel ook mede omdat niet alle aanpassingen van partijen door KODOS zijn verwerkt.
3. Risicoprofiel: er is op basis van onzekerheden in LCA en LCC gerelateerd aan ontwerp, en/of specifiek aangegeven risico's voor komende projectfasen bijvoorbeeld t.a.v. levensduur, aanvaring, beperkte normering op een semi-kwantitatieve manier een score gegeven; de risico's die zijn afgeprijsd in de LCC ramingen zijn zo niet meegenomen om dubbeltelling te voorkomen; het laagste risicoprofiel krijg de beste score.

Er wordt een relatief rapportcijfer gegeven om de verschillen duidelijker te maken: 2 (slechtste), 10 (beste) en daartussen lineair verdeeld. Dit staat los van het feit dat alle partijen voldoen aan de eisen, zie paragraaf 2.2 en 3.1. Hierbij wordt bij de aspecten met een kwantitatieve waarde (SLA, LCA, CO₂, LCC) de waarde omgezet naar dat rapportcijfer.

De maximale haalbare score bedraagt dan $10 \times 10 = 100$.

4.1.2 *Wijze van wegen*

Er zijn 4 scenario's voor de weging bepaald door RWS op basis van gangbare praktijk bij MWW:

- A. Beschikbaarheid en betrouwbaarheid (SLA), klimaat (LCA+circulariteit), kosten (LCC), risicoprofiel en overige aspecten even belangrijk.
- B. Beschikbaarheid en betrouwbaarheid (SLA), klimaat (LCA+circulariteit), kosten (LCC), risicoprofiel even belangrijk en overige aspecten niet meewegen.
- C. Beschikbaarheid en betrouwbaarheid (SLA), klimaat (LCA+circulariteit), kosten (LCC) wegen even zwaar en risicoprofiel en overige aspecten worden niet meegewogen.
- D. LCA weegt twee keer zo zwaar als LCC en de overige aspecten wegen niet mee.

Voor deze wijze bedraagt de minimale weegfactor per aspect 1 en bedraagt deze per scenario 20.

De maximale haalbare gewogen score bedraagt dan $20 \times 10 = 200$. Deze waarde kan weer omgezet worden naar een relatief rapportcijfer tussen 2 en 10. Dit staat los van het feit dat alle partijen voldoen aan de eisen, zie paragraaf 2.2 en 3.1.

4.2 Scoring

In onderstaande Tabel 18 zijn de scores weergegeven.

ID	10 Afwegingsaspecten	Scores per materiaal				bepaling beste score	Slechtste score	toelichting score
		Hout	Staal	VVK	Hybride			
		6 identieke deuren	4 identieke deuren	4 identieke deuren	4 identieke deuren	10	2	
1	Prestatie					10	6	voor SLA omdat daar min is gesteld
1a	SLA	99,6%	99,0%	99,8%	99,8%	99,8%	99,0%	
		9,00	6,00	10,00	10,00			
1b	LCA	€ 6.373	€ 7.026	€ 10.824	€ 13.117	€ 6.373	€ 13.117	
		10,0	9,3	4,8	2,0			
1d	Circulariteit	96%	33%	7%	16%	96%	7%	hout is hernieuwbaar materiaal en staal is nu maar voor slechts 30% gemaakt van sloopijzer, zie verder hulptabel in bijlage 6
		10	4,4	2	2,8			
1e	Standaardisatie	80%	60%	100%	100%	100%	60%	standaard ontwerp hout heeft kleinere reikwijdte qua afmetingen dan andere materialen, standaard ontwerp staal heeft grotere onbetrouwbaarheid voor grotere afmetingen
		8	6	10	10			
1f	Toekomstbestendigheid	9	8	7	6	9,00	6,00	zie hoofdstekst
		10	7,4	4,7	2			
1g	Effect op andere sluisonderdelen	8	6	10	10	10,00	6,00	
		6	2	10	10			
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	5	6	8	7	8,00	5,00	
		2	4,7	10	7,4			
2	LCC	€ 702.000	€ 738.000	€ 780.000	€ 754.000	€ 702.000	€ 780.000	
		10	6,4	2	4,7			
3	Risicoprofiel	6,00	8,00	9,00	6,00	9	6	VVK en staal hebben minste risico's kijkend naar LCA en ontwerp gerelateerde risico's in probabilistische LCC, zie verder hulptabel in bijlage 6.
		2,00	7,40	10,00	2,00			
Totale score zonder weging:		67,00	53,60	63,50	50,90			

Tabel 18 Score afwegingsaspecten

Uit bovenstaande tabel blijkt dat houten puntdeuren in totaliteit het beste scoort maar dat het verschil met de VVK-deuren niet groot is. De materialen staal en hybride scores duidelijk minder.

In onderstaande Tabel 19 zijn de scores weergegeven voor de variant met de lichtere VVK-reserve-deuren.

ID	10 Afwegingsaspecten	Scores per materiaal				bepaling beste score	Slechtste score	toelichting score
		Hout	Staal	VVK	Hybride			
		6 identieke deuren	4 identieke deuren	2 hoofddeuren en 2 lichtere reserve-deuren	4 identieke deuren	10	2	
1	Prestatie					10	6	voor SLA omdat daar min is gesteld
1a	SLA	99,6%	99,0%	99,0%	99,8%	99,8%	99,0%	
		9,00	6,00	6,00	10,00			
1b	LCA	€ 6.373	€ 7.026	€ 8.737	€ 13.117	€ 6.373	€ 13.117	
		10,0	9,3	7,2	2,0			
1d	Circulariteit	96%	33%	7%	16%	96%	7%	hout is hernieuwbaar materiaal en staal is nu maar voor slechts 30% gemaakt van sloopijzer, zie verder hulptabel in bijlage 6
		10	4,4	2	2,8			
1e	Standaardisatie	80%	60%	100%	100%	100%	60%	standaard ontwerp hout heeft kleinere reikwijdte qua afmetingen dan andere materialen, standaard ontwerp staal heeft grotere onbetrouwbaarheid voor grotere afmetingen
		8	6	10	10			
1f	Toekomstbestendigheid	9	8	7	6	9,00	6,00	zie hoofdstekst
		10	7,4	4,7	2			
1g	Effect op andere sluisonderdelen	8	6	10	10	10,00	6,00	
		6	2	10	10			
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	5	6	8	7	8,00	5,00	
		2	4,7	10	7,4			
2	LCC	€ 702.000	€ 738.000	€ 677.000	€ 754.000	€ 677.000	€ 754.000	
		7,5	3,7	10	2			
3	Risicoprofiel	6,00	8,00	9,00	6,00	9	6	VVK en staal hebben minste risico's kijkend naar LCA en ontwerp gerelateerde risico's in probabilistische LCC, zie verder hulptabel in bijlage 6.
		2,00	7,40	10,00	2,00			
Totale score zonder weging:		64,50	50,90	69,90	48,20			
1c	CO2 emissie	34,30	47,10	75,30	117,00	34,30	117,00	
		10,0	8,8	6,1	2,0			

Tabel 19 Score afwegingsaspecten met variant lichtere VVK-reserve-deuren

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de variant met lichter VVK-reserve-deuren het beste scoort maar dat het verschil met houten puntdeuren niet groot. Staal en hybride scores duidelijk lager.

4.3 Weging

In onderstaande Tabel 20 zijn de scores gewogen voor de 4 scenario's.

Afwegingsaspecten		Wegingsfactoren RWS scenario's				gewogen score van 4 Materiaal varianten per scenario															
ID		A B C D				A B C D				A B C D				A B C D				A B C D			
		beschikbaarheid en betrouwbaarheid (SLA), klimaat-milieu(LCA+circulairiteit), kosten(LCC), risico's en overige aspecten wegens niet mee	SLA, LCA+circulairiteit en LCC wegens even zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	SLA, LCA+circulairiteit en LCC wegens even zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	LCA weegt twee keer zo zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren
1	Prestatie	12,0	10,0	14,0	14,0																
1a	SLA	4,0	5,0	6,7	0,0	36	24	40	40	45	30	50	50	60	40	67	67	0	0	0	0
1b	LCA	2,0	2,5	3,3	13,3	20	19	10	4	25	23	12	5	33	31	16	7	133	124	64	27
1d	Circulairiteit	2,0	2,5	3,3	0,0	20	9	4	6	25	11	5	7	33	15	7	9	0	0	0	0
1e	Standaardisatie	1,0	0,0	0,0	0,0	8	6	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1f	Toekomstbestendigheid	1,0	0,0	0,0	0,0	10	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1g	Effect op andere sluisonderdelen	1,0	0,0	0,0	0,0	6	2	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	1,0	0,0	0,0	0,0	2	5	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	LCC	4,0	5,0	6,7	6,7	40	26	8	19	50	32	10	24	67	43	13	31	67	43	13	31
3	Risicoprofiel	4,0	5,0	0,0	0,0	8	30	40	8	10	37	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal maximale haalbare gewogen score: 20x10=200		20	20	20	20	150	127	136	106	155	133	127	96	193	128	103	114	200	166	77	58
teruggebracht naar rapportcijfer van 1-10:						7,5	6,3	6,8	5,3	7,8	6,7	6,4	4,8	9,7	6,4	5,1	5,7	10,0	8,3	3,9	2,9

Tabel 20 Weging

Duidelijk is te zien in bovenstaande tabel dat hout in alle wegingsscenario's het beste scoort en dat het verschil tussen staal- VVK en hybride groter wordt naarmate de wegingsfactoren meer van elkaar verschillen.

In onderstaande Tabel 21 zijn de scores gewogen voor de 4 scenario's met de lichtere VVK-reserve-deuren.

Afwegingsaspecten		Wegingsfactoren RWS scenario's				gewogen score van 4 Materiaal varianten per scenario															
ID		A B C D				A B C D				A B C D				A B C D				A B C D			
		beschikbaarheid en betrouwbaarheid (SLA), klimaat-milieu(LCA+circulairiteit), kosten(LCC), risico's en overige aspecten wegens niet mee	SLA, LCA+circulairiteit en LCC wegens even zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	SLA, LCA+circulairiteit en LCC wegens even zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	LCA weegt twee keer zo zwaar als LCC en andere aspecten wegens niet mee	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 identieke deuren	Hybride 4 identieke deuren
1	Prestatie	12,0	10,0	14,0	14,0																
1a	SLA	4,0	5,0	6,7	0,0	36	24	24	40	45	30	30	50	60	40	40	67	0	0	0	0
1b	LCA	2,0	2,5	3,3	13,3	20	19	14	4	25	23	18	5	33	31	24	7	133	124	96	27
1d	Circulairiteit	2,0	2,5	3,3	0,0	20	9	4	6	25	11	5	7	33	15	7	9	0	0	0	0
1e	Standaardisatie	1,0	0,0	0,0	0,0	8	6	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1f	Toekomstbestendigheid	1,0	0,0	0,0	0,0	10	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1g	Effect op andere sluisonderdelen	1,0	0,0	0,0	0,0	6	2	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	1,0	0,0	0,0	0,0	2	5	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	LCC	4,0	5,0	6,7	6,7	30	15	40	8	38	19	50	10	50	25	67	13	50	25	67	13
3	Risicoprofiel	4,0	5,0	0,0	0,0	8	30	40	8	10	37	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal maximale haalbare gewogen score: 20x10=200		20	20	20	20	140	116	157	95	143	120	153	82	177	110	137	96	183	148	162	40
teruggebracht naar rapportcijfer van 1-10:						7,0	5,8	7,9	4,8	7,1	6,0	7,7	4,1	8,8	5,5	6,9	4,8	9,2	7,4	8,1	2,0

Tabel 21 Weging met variant lichtere VVK-reserve-deuren

Uit deze tabel blijkt dat de variant met lichtere VVK- reserve-deuren bij de eerste 2 scenario's het beste scoort maar dat houten deuren beste scores bij scenario C en D.

4.4 Gevoeligheid

Verder is er ook gekeken naar wat het effect zou zijn van een score die relatief is ten opzichte van elkaar. De beste score een 10 en de andere deuren worden relatief gescoord ten opzichte van de beste. Dit resulteert in Tabel 22.

	Afwegingsaspecten	Scores per materiaal				
		Hout	Staal	VVK		Hybride
		6 identieke deuren	4 identieke deuren	2 hoofddeuren en 2 lichtere reserve-deuren	4 identieke deuren	4 identieke deuren
1	Prestatie					
1a	SLA	99,6%	99,0%	99,0%	99,8%	99,8%
		9,9	9,9	9,9	9,9	10
1b	LCA	€ 6.373	€ 7.026	€ 8.737	€ 10.824	€ 13.117
		10	9,1	7,3	5,9	4,9
1d	Circulariteit	96%	33%	7%	7%	16%
		10	3,5	0,8	0,8	1,7
1e	Standaardisatie	80%	60%	100%	100%	100%
		8	6	10	10	10
1f	Toekomstbestendigheid	9	8	7	7	6
1g	Effect op andere sluisonderdelen	8	6	10	10	10
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	5	6	8	8	7
2	LCC	€ 702.000	€ 738.000	€ 677.000	€ 780.000	€ 754.000
		9,7	9,2	10	8,7	9
3	Risicoprofiel	6,00	8,00	9,00	9,00	6,00
Totale score zonder weging		<u>75,60</u>	<u>65,70</u>	<u>72,00</u>	<u>69,30</u>	<u>64,60</u>
Verschil met oorspronkelijke waarde 19		11,1	14,8	2,1	-	16,4

Tabel 22 Score afwegingsaspecten met percentuele weging

Het blijkt dat percentuele afwijking het meest scheelt in de beoordeling van hybride, maar dat ook hout het beste blijkt te scoren. Deze scores zijn vervolgens ook in de wegingstabel met lichtere VVK-reserve-deuren gezet, zie Tabel 23.

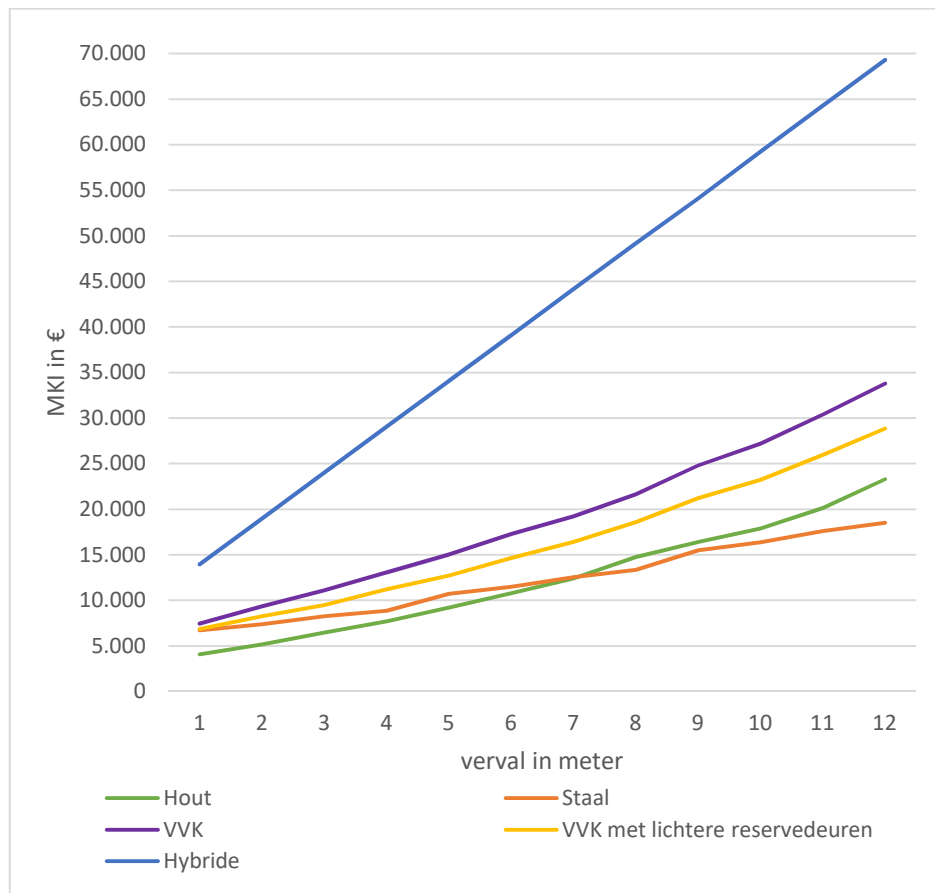
Afwegingsaspecten		gewogen score van 4 Materiaal varianten per scenario															
ID		A				B				C				D			
		Hout 6 identi eke deure n	Staal 4 identi eke deure n	Composiet 2 hoofddeuren en 2 lichtere reserve- deuren	Hybride 4 identie ke deuren	Hout 6 identi eke deure n	Staal 4 identi eke deure n	Composiet 2 hoofddeuren en 2 lichtere reserve- deuren	Hybrid 4 identie ke deuren	Hout 6 identi eke deuren	Staal 4 identi eke deuren	Composie 2 hoofddeur en en 2 lichtere reserve- deuren	Hybride 4 identiek e deuren	Hout 6 identieke deuren	Staal 4 identieke deuren	Composiet 2 hoofddeuren en 2 lichtere reserve- deuren	Hybride 4 identieke deuren
1	Prestatie																
1a	SLA	40	40	40	40	50	50	50	50	66	66	66	67	0	0	0	0
1b	LCA	20	18	15	10	25	23	18	12	33	30	24	16	133	121	97	65
1d	Circulariteit	20	7	2	3	25	9	2	4	33	12	3	6	0	0	0	0
1e	Standaardisatie	8	6	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1f	Toekomstbestendigheid	9	8	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1g	Effect op andere sluisonderdelen	8	6	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1h	Effect op architectonische vormgeving sluis	5	6	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	LCC	39	37	40	36	49	46	50	45	65	61	67	60	65	61	67	60
3	Risicoprofiel	24	32	36	24	30	40	45	30	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal	maximale haalbare gewogen score: 20x10=200	172	160	167	146	178	167	165	142	197	169	160	149	198	182	164	125
teruggebracht naar rapportcijfer van 1-10:		8,6	8,0	8,3	7,3	8,9	8,4	8,2	7,1	9,9	8,5	8,0	7,4	9,9	9,1	8,2	6,3
		1	3	2	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Tabel 23 Weging gevoeligheid met variant lichtere VVK-reserve-deuren

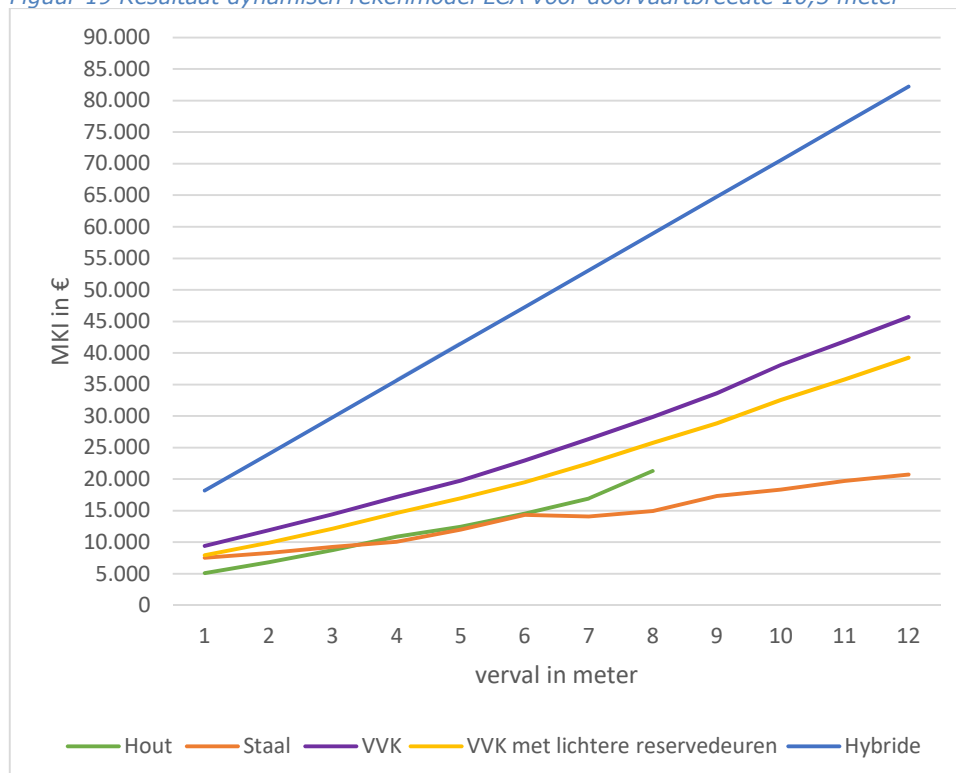
Als er een percentuele weging wordt toegepast blijkt hout altijd het hoogste te scoren en wordt ook staal veelbelovender. De manier van onderling rangschikken blijkt dus invloedrijk. Wel blijkt het onderlinge verschil op bijvoorbeeld LCA gebied veel kleiner.

4.5 Afhankelijkheid formaat

Door de partijen is er ook een dynamisch rekenmodel gemaakt, waarmee het effect van een groter verval op de LCA waarde kan worden waargenomen. Het effect op de LCA is weergegeven in Figuur 19 en Figuur 20. Uit deze figuren blijkt dat op het gebied van LCA hout ook het beste scoort voor een doorvaartbreedte van 10,5 en 12,5 meter met een verval tot resp. 7 en 3 meter. Voor grotere vervallen scoort staal het beste.



Figuur 19 Resultaat dynamisch rekenmodel LCA voor doorvaartbreedte 10,5 meter



Figuur 20 Resultaat dynamisch rekenmodel LCA voor doorvaartbreedte 12,5 meter

5 Impact contractvoorbereiding en inkoop

De 4 partijen, NIBE, KODOS en RHDHV begeleiders hebben de volgende aanbevelingen en suggesties gedaan voor de contractvoorbereiding en inkoop door Rijkswaterstaat van puntdeuren.

5.1 Hout

De inkoop en contractvoorbereiding van houten sluisdeuren vraagt geen bijzondere inspanning van de medewerkers bij Rijkswaterstaat. De impact op de organisatie is dan ook klein. Wel is er een aantal aandachtspunten dat de uitvraag en toepassing van houten sluisdeuren onnodig kan hinderen. Deze aandachtspunten worden onderstaand weergegeven in de vorm van aanbevelingen:

1. Er kan beter rekening gehouden worden met het flexibele gedrag van de houten deuren (uitgangspunt ROK is stijve deuren). Een verplaatsingen-gestuurde aandrijving is voor houten sluisdeuren beter dan een kracht-gestuurde aandrijving waarin bepaalde drukken moeten worden opgebouwd immers:
 - a) Voorspanning op deuren is voor hout niet van toepassing en werkt zelfs averechts omdat als de deuren bovenaan worden gedrukt, ze onderaan eerder van de drempel afkomen.
 - b) Ook voorspanning in de open stand is niet nuttig. Deuren worden bovenaan vastgehouden en zullen onderaan door deining en golfslag bewegen. De krachten die theoretisch worden opgebouwd zijn praktisch daardoor niet aanwezig.
2. Door de vele belastinggevallen die voorgeschreven zijn voor ontwerp van cilinders worden deze krachten enorm hoog. Te denken aan:
 - a) Negatief verval en restverval: dit is door de flexibiliteit van houten deuren een onwenselijke situatie. Als je hierop ontwerpt komen er grote krachten en dus vervormingen op de deuren. Beter is om de kracht laag te houden en te wachten tot het water weer gelijk is.
 - b) Vervalbelasting langsvarend schip: ook deze is voor houten deuren minder relevant, aan de achterzijde zijn stootblokken om te voorkomen dat de deuren tegen de wand (met evt. kabels en leidingen) worden gedrukt en schade toebrengen aan de schuiven op de deuren. Bij zuiging, dus beweging van de muur af, zal de deur hoe dan ook een beetje verplaatsen waardoor het water snel zakt en de kracht weg is.
 - c) De vaak te hoge kracht in de cilinder is de actiekracht in het geval een obstakel de deurbeweging blokkeert. Bij een obstakel is er altijd schade, hoe hoger de kracht hoe meer schade. Hoe lager de kracht hoe beter het dus voor de deuren is.
3. Aanvaring geeft ook schade, vaak aan de bewegingswerken en het punt van impact. De kans op volledig bezwijken van een deur door een aanvaring is klein, maar de impact op de uitvoering van de deur is groot als deze maatgevend is voor het ontwerp van de deuren. De inzet van reservedeuren is dan beter.
4. Samengevat zou er dus ontworpen moeten kunnen worden conform onderstaande gedachten:
 - a) Cilinders ontwerpen op de normale situatie van bewegen.

- b) Ruimte creëren onder de deur en achter de deur in de deurkas, om zo de kans op obstakels zo veel mogelijk te vermijden.
- c) Extreme gevallen niet meenemen (vaak is het praktische gevolg is dat er dan wat meer tijd besteed wordt aan de cyclus, bijvoorbeeld wachten op gelijk water of wat langzamer in stappen van de draibeweging)
- d) Deuren ontwerpen
 - i. In gesloten stand maatgevend te stellen.
 - ii. Toetsen wat er gebeurt met een obstakel (situatie is dan bijzonder en accidenteel zodat we de gunstigste materiaalfactoren kunnen gebruiken) 2. Pen-gatverbinding is maatgevend in veel gevallen, en de toets in de En-1995 is niet passend.
 - iii. Hogere materiaalwaarden voor de schuifsterkte toelaten dan conform de norm. Zie daarvoor de literatuur: Mechanical properties of azobe' (Lophira alata) door J.W.G. van de Kuilen en H.J. Blass (2004).
 - iv. Het onderzoek van Van Otterlo (TUDelft) kan worden gebruikt.
- 5. Marktbreed kan nog beter worden ingezet op optimalisatie van de traditionele verbindingen en het toepassen van de aanbevelingen uit CUR 213 en het werkboek 'Constructiedetails en duurzaamheid' van FSC Nederland. Dit betekent dat de onderdelen van de houten puntdeur waar het constructief mogelijk is, afwaterend worden.
- 6. Rijkswaterstaat dient in haar beheer- en onderhoudsplan goed (laten) vast (te) leggen dat houten puntdeuren jaarlijks schoongemaakt moeten worden en erop ook toezien dat dit daadwerkelijk gebeurt.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn als volgt:

Korte termijn (komende 5 jaar):

- 1. Op het gebied van beweegbare bruggen is er een Nederlandse Technische Afspraak (NTA) tot stand gekomen om de principes van Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen (IFD) markt breed toe te passen. Een verdere ontwikkeling zou kunnen zijn dat het standaard-ontwerp voor de houten sluisdeur inclusief de nodige principedetails wordt toegevoegd aan een NTA voor IFD-ontwerp van houten sluisdeuren. Daarbij hoort ook een (retour) systeem voor het hoogwaardiger hergebruik van houten sluisdeuren aan het einde van de levensduur.
- 2. Is ongemerkt falen van volle-draad-schroeven een reëel risico? Hoe kunnen de traditionele verbindingen verder worden geoptimaliseerd?

Middellange termijn (komende 10 jaar)

In plaats van het aanbrengen van omvangrijke stalen voorzieningen in het ontwerp van de standaard houten sluisdeuren, enkel om reden van de rekenkundige 'aantoonbaarheid' van de aanvaarbeasting, is het beter om in de komende 10 jaar te onderzoeken welke aanvaarbeasting houten deuren in werkelijkheid zelf kunnen opnemen.

- 1. Informatie van beheerders over recente aanvaringen met houten deuren kan worden geanalyseerd om de aanvaarenergie in die gevallen na te rekenen. Het is aannemelijk dat binnen de grote organisatie van Rijkswaterstaat informatie van aanvaringen op houten deuren bij beheerders aanwezig is. Camerabeelden kunnen bijvoorbeeld met videotracker software worden onderzocht.

2. Parameters voor niet-lineaire materiaalmodellen kunnen worden afgeleid op basis van beschikbaar onderzoek. Hiermee kunnen aanvaringen worden nagerekend met bijvoorbeeld LS-DYNA.
3. Uit renovatieprojecten beschikbaar komende sluisdeuren kunnen worden gebruikt voor full-scale (destructief) onderzoek naar de bezwijksterkte van de Azobé regels en pen-gat verbindingen en de invloed van de levensduur hierop.

5.2 Staal

Er is voorgesteld om als klanteis mee te geven dat er bij elk ontwerp moet worden aangetoond hoe er wordt omgegaan met duurzaamheid in het ontwerp. Daarbij moet ook al worden gekeken naar het gebruik van de sluisdeur na het einde van de levensduur. In de uitvraag kan hiervoor een score worden ingebouwd voor de mate van circulariteit/hergebruik die de aan te bieden sluisdeur heeft. Hoe hoogwaardiger het hergebruik, des te hoger deze score. Er zijn ontwikkelingen gaande om staal CO₂-vrij te produceren [De Ingenieur, (mei 2020), p.18-21]. De bijdrage in de LCA aan het milieueffect klimaatverandering neemt dan af met zo'n 30%. Echter, wanneer in de toekomst al het staal op deze wijze wordt geproduceerd wordt er bij de recycling van staal in de volgende levenscyclus ook "klimaat neutraler staal" uitgespaard. De negatieve bijdrage in module D wordt hierdoor kleiner wat een groot deel van de berekende milieubesparing tenietdoet. De wijze waarop dit effect precies moet worden geduïd en moet worden meegewogen in LCA-berekeningen (en het vergelijken van LCA-resultaten in toekomstige tenders), vraagt om vervolgonderzoek (en rekenregels).

Op basis van de ervaringen opgedaan in deze studie doet SGS INTRON de volgende aanbevelingen.

1. Sommige materialen en processen zijn moeilijk mee te nemen omdat gegevens ontbreken. Vaak zijn dit processen die in de basis niet onderscheidend zijn, maar afhankelijk van het ontwerp in andere hoeveelheden meegenomen moeten worden. Voorbeelden hiervan zijn:

- Stralen van de sluisdeuren
- Coatingsystemen
- Materieel voor het plaatsen van de deuren, sloop, etc.

Het is raadzaam om hier afspraken over te maken (Product Category Rules (PCR) voor sluisdeuren), standaardprocessen op te nemen in de Nationale Milieudatabase.

2. De kans bestaat dat een sluisdeur aan het eind van de toepassingsduur kan worden hergebruikt als sluisdeur (of wellicht in een andere toepassing). Het is raadzaam om bij tenders aan te geven of het doorgeven van een sluisdeur aan een volgende levenscyclus meegenomen mag worden en om hier rekenregels over af te spreken (wederom een thema voor PCR sluisdeuren). Wanneer dit aspect goed wordt benut dan biedt dit wellicht kansen om circulair ontwerpen te bevorderen.

5.3 VVK

Belangrijke aspecten bij het inkopen van VVK-sluisdeuren zijn:

- Aangeven hoe waarde van een lagere LCA zich verhoudt tot de LCC t.b.v. materiaalkeuzes (EMVI).
- Technische specificaties i.r.t. vervormingen, koppelen aan functionele randvoorwaarden (levensduur, beschikbaarheid, vervormingen) en voor VVK de CUR 96 voorschrijven.
- Aanbesteder dient als basis al de juiste (gelijkwaardige) MKI-kentallen per materiaal/proces gericht mee te geven of voor te schrijven. Dit om een eenduidige aanpak te borgen voor de vergelijking van verschillende materialen/oplossingen en de tenderkosten te beperken. De inschrijvers

kunnen hierbij de ruimte krijgen om onderbouwd af te wijken van deze kentallen.

- Belangrijk is dat de data in Dubocalc actueel en voldoende gevalideerd is. Nu staat er bijvoorbeeld verouderde informatie m.b.t. staal. Dat er een methodiek komt om hergebruik op de juiste waarde mee te kunnen waarderen. Daarnaast is er een beoordelingsmechanisme nodig voor het beoordelen van de circulariteit tussen verschillende materialen. Gebruik CROW-infoblad 800 'Specificeren van duurzaamheid'.
- Zorg voor een goede business case en werkbare risicoverdeling voor innovatie. Door bundeling van meerdere vergelijkbare sluisdeuren voor meerdere sluiscomplexen met een zekerheid dat de oplossing vaker toegepast kan worden als aan de gevraagde eisen voldaan wordt.
- Reservedeuren vs. beschikbaarheidseisen. Reservedeuren hebben een grote impact op de milieubelasting en de kosten en voor VVK maar een beperkte invloed op de beschikbaarheid. Een gedetailleerde beschrijving van de beschikbaarheidseisen kan een gewogen beoordeling mogelijk maken of een reservedeur nodig is.
- Schaalbaar ontwerp wat door meerdere partijen te produceren is.
- De beheerder is maar beperkt in het proces betrokken geweest. Aan het begin zijn de eisen door RWS met de beheerder afgestemd. De ingenieursbureaus hebben niet met de beheerder kunnen afstemmen. Het is niet duidelijk of de afweging met weegfactoren een goede afspiegeling is van het financieel belang bij de betreffende onderdelen. De impact dat door onvoorziene omstandigheden er achterstallig onderhoud ontstaat (een heel reëel risico) heeft op het ene materiaal veel meer impact dan op het andere materiaal. De doorrekening dat ook de staande RWS-organisatie efficiënter het beheer en onderhoud kan managen doordat er minder onderhoud nodig is, komt niet in de afweging terug. Het ontzorgen van beheerders door toepassing van onderhoudsvrije materialen komt niet in de afweging terug.

5.4 Hybride

Kort samengevat dient Rijkswaterstaat rekening te houden met de volgende zaken in hun uitvragen:

- Zorg voor een in de uitvraag vastgestelde afweging tussen investeringskosten, de behaalde LCA-waarde en de behaalde LCC-waarde.
- Zorg voor uniforme, actuele en complete materiaaldata. Lever deze mee met de uitvraag om vragen en onnodige verschillen tussen inschrijvende partijen te voorkomen.
- Onderzoek de voor RWS acceptabele waarden voor doorbuiging, kruip en schade-acceptatie. Kwantificeer en onderbouw deze waarden of verpak deze eisen in onderliggende functionele eisen.
- Blijf onderzoeksprojecten in de markt zetten om innovatie (in alle materialen) te blijven stimuleren.
- Afwegingen met grote impact op LCA- en LCC-waarden, zoals de constructieve prestaties van reservedeuren, dienen in de uitvraag al gedaan te zijn en niet overgelaten te worden aan marktpartijen.
- Overweeg de vervangingsopgave van sluisdeuren in grote percelen in de markt te zetten om zo voor marktpartijen de ruimte te creëren voor innovatie.

Kanttekening bij NIBE-aanbevelingen:

Uit de bevindingen van de door NIBE uitgevoerde pre-review in voorliggende casus blijkt dat een review of pre-review voor gunning nuttig is. Het reviewen en het verwerken van reviewcommentaar leidt echter tot extra doorlooptijd van de

aanbestedingsprocedure en dit moet dus goed ingepland worden. Bovendien vergroot dit de inschrijvingsinspanning van de inschrijvers. Ook dit is niet wenselijk, de inspanning moet evenredig zijn ten opzichte van de omvang van het werk. Het is daarom beter om de uitvraag te optimaliseren. Een (pre)review/schaduwberekening voorafgaand aan de gunning moet niet als doel hebben dat er voorafgaand aan de gunning een perfecte MKI-berekening ligt maar moet voldoende vertrouwen geven bij zowel de opdrachtgever als de opdrachtnemer dat de aangeboden MKI realistisch en haalbaar is. In voorliggende casus is dat bij alle partijen het geval, de schaduwberekening komt immers bij alle partijen lager uit. Het aan laten passen van de berekening leidt niet tot andere uitkomsten/inzichten.

5.5 NIBE-RHDHV

Vanuit de ervaringen, die zijn opgedaan uit de pre-toets, vergelijk van ingediende LCA's en de gemaakte schaduw LCA's worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Werk bij aanbestedingen met een volledige review of pre-review voor gunning, uitgaande van een optimaal geformuleerde uitvraag.
 - Laat partijen een review of een pre-toets uitvoeren op de LCA van hun product. Of faciliteer een review of pre-review als opdrachtgever, bijkomend voordeel hierbij is dat het één reviewer betreft die de gelijkwaardigheid beter kan borgen door inzicht in de LCA van alle partijen.
 - Indien OG de review of pre-toets faciliteert, neem een periode op in het aanbestedingsproces om LCA's te verbeteren. Een review leidt in het algemeen tot het moeten doen van aanpassingen.
2. Schrijf als opdrachtgever aanvullende eisen op de Bepalingsmethode voor, die het gelijke speelveld waarborgen.
 - Gebruik van specifieke achtergrond data voorschrijven, indien er meerdere keuzemogelijkheden zijn en de invloed groot is. OG dient hiervoor naar de gevoeligheden van de LCA te kijken en de aanbesteding hierop af te stemmen. In dit specifieke project heeft NIBE via contacten vernieuwde staaldata ontvangen waar andere nog geen toegang toe hebben, hetzelfde geldt voor data voor glasvezel, waar RHDHV fouten in een veel gebruikte database constateert en verbeterde data heeft gekregen. Beide zijn nog niet beschikbaar via de algemene route, maar zijn wel van invloed op de uiteindelijke MKI-score.
 - Stel een forfaitaire lijst op voor technische levensduren voor materiaalsoorten in de beschouwde toepassing, indien deze ontbreken. Rijkswaterstaat schrijft bijvoorbeeld standaard levensduren voor verschillende asfalt-toepassingen.
 - Stel aanvullend op de SBK Bepalingsmethode forfaitaire afvalscenario's op die specifiek zijn voor toepassing in natte GWW-werken.
 - Schrijf een forfaitaire wijze voor bepaling van uitloging voor.
 - Schrijf forfaitaire te hanteren bouwplaats-processen voor.
3. Product Category Rules (PCR) voor productgroepen waarop afzonderlijke aanbestedingen worden gedaan (Vervolg op 2)
 - Stel een PCR op. Een document met specifieke regels hoe een LCA op te stellen voor een specifieke productcategorie, met als doel eenduidigheid te creëren voor deze categorie. Hier zijn de reeds bekende product-specifieke uitgangspunten en forfaitaire waarden vastgelegd, die aanvullend zijn op de Bepalingsmethode.
 - Gebruik de kennis van marktpartijen over de productie en realisatie
 - Publiceer deze publiekelijk toegankelijk, bijvoorbeeld via SBK.
 - Begin klein met de PCR en breidt verder uit indien nodig.

Om te toetsen of aan Rijksdoelen wordt voldaan met betrekking tot circulariteit en CO₂-reductie zullen er betere kaders en methodieken moeten worden opgesteld en/of voorgeschreven.

5.6 Kodos-RHDHV

Uit de schaduwberekeningen en de naleveringen van de partijen zijn de volgende aanbevelingen te halen:

- Schrijf strikter voor hoe de SSK-methodiek gehanteerd moet worden bij met name bij de indirecte bouwkosten, voorbereiding en engineerskosten, overige bijkomende kosten en risicoreserveringen en de onderbouwing en toelichting van deze posten en de spreidingspercentages
- Schrijf een probabilistische doorrekening voor en vraag om beheersmaatregelen bij niet halen van de eis voor de variatiecoëfficiënt

6 Conclusies en aanbevelingen vervolg

Dit onderzoek heeft Rijkswaterstaat en betrokken adviesbureaus, leveranciers en aannemers veel inzicht gegeven in wat er allemaal komt kijken bij de materiaalkeuze voor een puntdeur. Al met al heeft het onderzoek van initiatief (juli 2017), voorbereiding (2018), aanbesteding (2019) tot en met uitvoering (2019-2020) 3,5 jaar in beslag genomen, mede door Corona.

6.1 Conclusie

Het oorspronkelijke hoofddoel om lessen op te halen voor een betere uitvraag voor zowel standaardisatietrajecten als contracten is zeker gehaald.

6.1.1 Algemeen

Indien een dergelijk onderzoek of een concrete aanbesteding voor grotere puntdeuren of ander type sluisdeuren wordt overwogen cq. moet worden voorbereid dan volgende lessen en aanbevelingen ter verbetering op te volgen.

Ontwerp:

- Rijkswaterstaat dient zijn eisen en randvoorwaarden scherper en specifieker per materiaal en/of situatie te formuleren gebaseerd op gedegen onderzoek. Daarbij dient ook de toepassing van de ROK kritisch te worden beschouwd. Het gaat dan vooral om de aspecten doorbuiging, bijzondere belastinggevallen in relatie tot de aandrijving en het gebruik van de puntdeuren, en de inzet van reservedeuren in relatie tot de kans op aanvaren. Marktpartijen kunnen Rijkswaterstaat daarbij ondersteunen.
- Parametrisch ontwerpen kan leiden tot meer standaardisatie en lagere ontwerpkosten.
- Rijkswaterstaat dient dit soort onderzoeksprojecten blijvend in de markt te zetten om innovatie verder te helpen.
- Gebundeld meerdere vervangingen in de markt zetten, zijn min of meer voorwaarden voor de laatste twee aanbevelingen.

LCA:

- Laat een review of pre-review uitvoeren.
- Schrijf als Rijkswaterstaat aanvullende eisen op de Beoordelingsmethode voor zoals specifieke achtergrond-data, Product Category Rules (PCR), programmatuur, rapportage, nauwkeurigheid; zodat de uitvraag scherper wordt.

Circulariteit en CO₂-reductie:

- Om te toetsen of aan Rijksdoelen wordt voldaan met betrekking tot circulariteit en CO₂-reductie zullen er betere kaders en methodieken moeten worden opgesteld en/of voorgeschreven door Rijkswaterstaat en neem daarin module D van de LCA hierin mee.

LCC:

- Laat ook een dynamisch rekenmodel voor vooraf bepaalde ontwerpparameters maken.
- Schrijf strikter voor hoe de SSK-methodiek gehanteerd moet worden bij met name bij de indirecte bouwkosten, voorbereiding en engineerskosten,

overige bijkomende kosten en risicoreserveringen en de onderbouwing en toelichting van deze posten en de spreidingspercentages.

- Schrijf een probabilistische doorrekening voor en vraag om beheersmaatregelen bij niet halen van de eis voor de variatiecoëfficiënt.

Afweging:

- Zorg bij het begin voor heldere weegfactoren voor LCA en LCC
- Overweeg aparte en/of meer gedetailleerde criterium voor beheerdersaspecten.

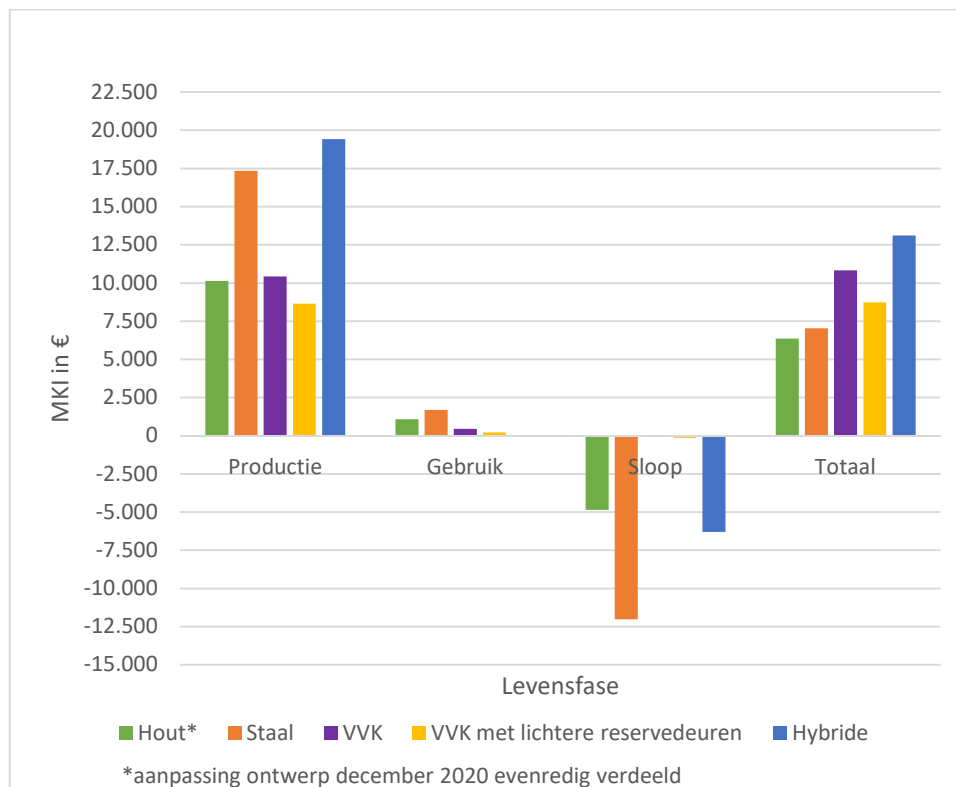
6.2 Score varianten

Elk type deur heeft duidelijk zijn eigen sterke kanten. Het materiaal hout heeft de beste LCC en LCA score, terwijl staal interessant is voor grotere sluizen. VVK heeft lagere totale projectkosten, maar door de discontovoet scoort qua totale LCC hout net beter. Uit de afwegingsmodel blijkt dat voor de casus het materiaal hout (FSC Azobé) voor alle wegings-scenario's het beste scoort als voor alle 4 materialen dezelfde interpretatie van het gebruik van reservedeuren wordt gehanteerd met volwaardige hoofdeuren.

Indien ook de variant met lichtere VVK-reservedeuren wordt meegewogen dan blijkt dat deze variant beste scoort voor wegingsscenario's A (Beschikbaarheid en betrouwbaarheid, klimaat, kosten, risicoprofiel en overige aspecten even belangrijk) en B (Beschikbaarheid en betrouwbaarheid, klimaat, kosten, risicoprofiel even belangrijk en overige aspecten niet meewegen). Voor scenario C (Beschikbaarheid en betrouwbaarheid, klimaat en kosten wegen even zwaar en risicoprofiel en overige aspecten worden niet meegewogen) en D (LCA weegt twee keer zo zwaar als LCC en de overige aspecten wegen niet mee) blijft echter hout beste scores.

Ook de manier van rangschikken maakt uit voor het onderlinge resultaat. Indien gekozen wordt voor percentuele afweging in plaats een score van 2 voor de laagste en 10 voor de hoogste scoort hout en staal verhoudingsgewijs beter, terwijl de verschillen op bijvoorbeeld LCA gebied kleiner worden.

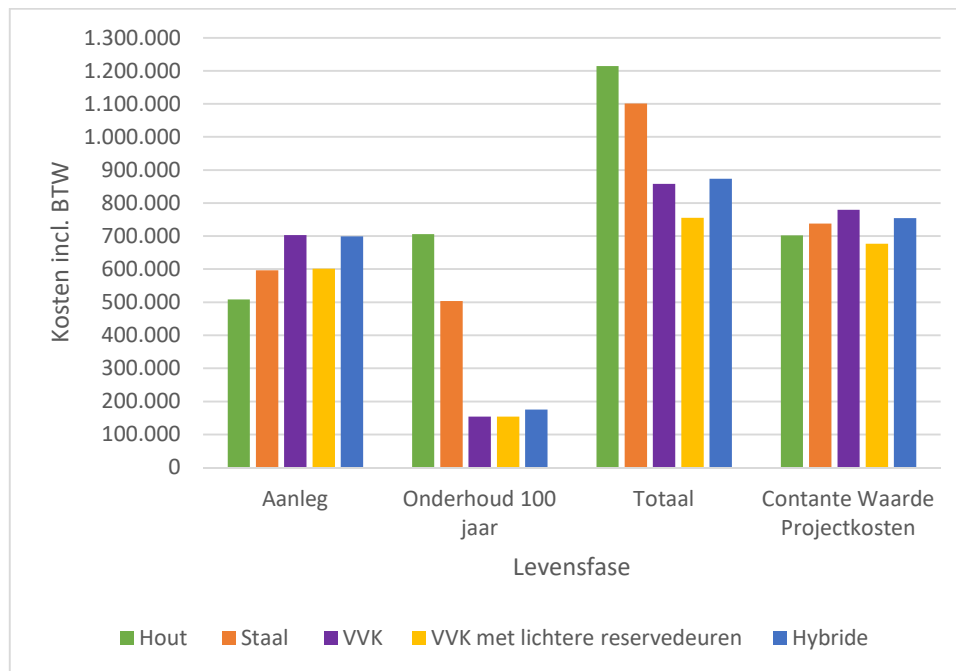
In onderstaande grafiek zijn de MKI-waarden van de casus voor de materialen weergegeven. Duidelijk te zien is dat productie en sloopfasen dominant zijn.



Figuur 21 MKI-waarden casus materialen

Er is tijdens het proces discussie geweest over module D (de sloop), omdat het lastig is om te voorspellen wat de toekomstscenario's zijn voor hergebruik. Een mogelijkheid is om deze los weer te geven om de gevoeligheid aan te geven.

De kosten van de casus voor de materialen zijn hieronder weergegeven.



Figuur 22 Kosten materialen

Ondanks dat de ontwerpen op DO-niveau zijn gemaakt, is de vereiste nauwkeurigheid van 15% niet gehaald bij de LCA en LCC-analyses bij staal, VVK en hybride. Dit is vooral veroorzaakt door onzekerheden in de milieudata (uniform, actueel en compleet bij productie- en met name sloopfase), prijzen (bewerken staal, aanbrengen resin infusie VVK) en het aanvaringsrisico (hybride).

Bijlage 1: verslagen bijeenkomsten en werksessies

Bijlage 2: Eisen en randvoorwaarden

Bijlage 3: Ontwerprapporten, LCA en LCC van 4 partijen

Bijlage 4: LCA schaduwberekeningen NIBE

Bijlage 5: LCC Schaduwberekeningen KODOS

Bijlage 6: Afwegingsmodel