

KETENANALYSE HOUT IN DE GWW-SECTOR

CO2-PRESTATIELADDER BOORSMA

project	01196
document	RA-01196-005
versie	1.0
datum	15-11-2023

Colofon

Projectnaam	CO2-prestatieladder Boorsma	
Opdrachtgever	Boorsma B.V. Gerben Sondermanstraat 2 9203 PV Drachten	
Projectnummer Boorsma	01196	
Documentnummer	RA-01196-005	
Versie	1.0	
Datum	15-11-2023	
Document	Ketenanalyse hout in de GWW-sector	
Auteur	ir. T. (Tunis) Hoekstra	
Eindredactie	ir. F.E. (Frank) Terpstra	
Vrijgegeven	ir. J. (Jan) Wessels	
Vorige versies	-	

Q:\2001\01196\algemeen\CO2-prestatieladder\CO2 rapportages\RA-01196-005-1.0_2023-11-15.docx



CO₂-PRESTATIELADDER

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	4
1.1.	Conclusie / resultaten ketenanalyse	4
1.2.	4.A.3 Professionele ondersteuning en becommentariëring.....	5
2.	Kostenaspecten hout in de GWW.....	6
2.1.	TCO (Total Cost of Ownership).....	7
2.1.1.	Stichtingskosten	7
2.1.2.	Levensduurbenadering	9
2.2.	Milieu schaduw kosten	12
2.2.1.	Levenscyclus analyse (LCA)	12
2.2.2.	Milieu Kosten Indicator (MKI)	15
2.3.	Hergebruik.....	23
2.4.	Levensduurverlengende technieken.....	27
2.5.	Toepassingsbereik van hout in de GWW	27

1. Inleiding

De uitdaging van Rijkswaterstaat betreft het vervangen en/of renoveren van circa 52 sluizen tussen nu en 2050. Deze sluizen zijn aan het einde van hun levensduur of hebben een capaciteitstekort. Het gaat om een investering van 2 à 4 miljard euro met consequenties voor de komende 100 jaar. In verband hiermee heeft Rijkswaterstaat het programma MultiWaterWerk opgezet. In het kader van dit programma worden de meest kritische onderdelen van een sluis, waaronder de sluisdeuren, gestandaardiseerd. Doel is om via standaardisatie zo efficiënt mogelijke renovaties en vervangingen in te zetten die zo duurzaam mogelijk moeten zijn in de breedste zin van het woord. Reductie van CO₂-emissie is hiervan een onderdeel.

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft Boorsma het project MultiWaterWerk uitgevoerd. Hierin zijn voor het vervangen van sluisdeuren verscheidene materialen met elkaar vergeleken. Hierbij zijn de TCO (Total Costs of Ownership), de MKI (Milieu Kosten Indicator) en de CO₂ emissie (als onderdeel van de MKI) per materialisatie bepaald. Voorliggend document omvat een samenvatting van dit onderzoek naar materialisatie van sluisdeuren alsmede van andere constructies in de GWW-sector. Paragraaf 1.1 bevat de uitkomsten betreffende de CO₂-emissie.

1.1. Conclusie / resultaten ketenanalyse

Als onderdeel van de TCO en de MKI is in het project voor 4 materialisaties van houten sluisdeuren de CO₂-emissie berekend. Uit deze ketenanalyse blijkt dat houten sluisdeuren het beste scoren, zie onderstaande tabel:

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 slooijzer, 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			

Aangezien houten deuren een kortere levensduur hebben, is over de referentieperiode van 100 jaar gerekend met een extra set deuren.

1.2. 4.A.3 Professionele ondersteuning en becommentariëring

Voor het berekenen van de CO₂-emissie is Boorsma professioneel ondersteund door Agrodome, Advies & Ontwikkeling. De onderzoekresultaten zijn zijdens opdrachtgever Rijkswaterstaat professioneel becommentarieerd door NIBE, experts in sustainability.

2. Kostenaspecten hout in de GWW

Houtconstructies zijn (zeker in de GWW) aantrekkelijk vanwege de relatief lage stichtingskosten. Vergeleken met alternatieve materialen onderscheiden houtconstructies zich wat kosten betreft in positieve zin.

Kosten dienen te worden beschouwd over de gehele levensduur. In dit onderzoek wordt daarom ingegaan op de zogenoemde Life Cycle Costs (LCC) benadering, ook wel aangeduid met de Total Cost of Ownership (TCO).

Een ander aspect van kosten, waar in dit onderzoek op wordt ingegaan, betreft de milieuschaduwkosten van houtconstructies in de GWW. Deze kosten worden inzichtelijk gemaakt middels Levens Cyclus Analyse (LCA) en kunnen in valuta (€) worden uitgedrukt middels de Milieu Kosten Indicator (MKI). CO₂-emissies zijn hiervan een onderdeel.

Hoewel in dit onderzoek zal blijken dat houtconstructies zich positief onderscheiden van alle andere materialen die in de GWW worden toegepast, wordt ook duidelijk dat duurzaam detailleren, levensduurverlengende technieken, en hergebruik van wezenlijk belang zijn om het kosteneffectieve en duurzame karakter van houtconstructies in de GWW te versterken.



figuur 2-1: Realisatie van een houten ophaalbrug

2.1. TCO (Total Cost of Ownership)

In het vervolg van deze paragraaf wordt ingegaan op verschillende bijdragen aan de kosten gedurende de levensduur. Daartoe worden de volgende fasen in de levenscyclus van een constructie onderscheiden:

- Ontwerpfase;
- Sloopfase voor realisatie (het te vervangen object dat geheel of gedeeltelijk plaats moet maken voor iets nieuws of beters);
- Realisatiefase (het bouwen van het nieuwe of verbeterde object);
- Onderhoudsfase (het verrichten van preventief en correctief onderhoud aan het object om de levensduur te verlengen, maar ook de functionaliteit en veiligheid te waarborgen);
- Sloopfase na einde levensduur.

2.1.1. Stichtingskosten

Voor het realiseren (bouwen) van een houten constructie wordt de kostprijs opgebouwd uit de volgende kostenbestanddelen:

- Groot materieel (kraan, indien noodzakelijk vanaf ponton/werkschip);
- Klein materieel (handgereedschap b.v. kettingzaag / cirkelzaag);
- Arbeid (houtbewerker, vakman waterbouw);
- Transportmiddelen voor aanvoer- en afvoer materialen;
- Leverantie materialen hout;
- Leverantie materialen staal (verbindings- en bevestigingsmiddelen).

Kostenbestanddeel houtleverantie

Het kostenbestanddeel houtleverantie bedraagt normaliter tussen 40 en 70 % van de totale realisatiekosten van het object. Voor de houtprijzen zijn echter geen vaste getallen te geven. Deze verschillen per houtsoort, maar variëren ook in de tijd als gevolg van vraag en aanbod. Bij haalbaarheidsonderzoeken of variantenstudies kan het best gebruik gemaakt worden van recente kostenkengetallen of informatie van leveranciers. Ook is het raadzaam om vroegtijdig duidelijkheid te verkrijgen over levertijden en voorraden bij leveranciers. Wel kunnen aanbevelingen worden gedaan om het bestanddeel houtleverantie prijstechnisch gunstig te kunnen beïnvloeden:

- Het volume van het te verwerken hout is maatgevend, door in het ontwerp goed rekening te houden met bepaalde afmetingen en verhoudingen tussen bijvoorbeeld paalafstand en balkgrootte worden overmaatse diktes en lengtes voorkomen.

- Houten damwand wordt gezaagd uit de minder bruikbare delen tijdens het bezagen van een stam. Dit verklaart ook de vaak wisselende breedtes van de planken. De prijs per m3 is bij damwand het laagst van alle hardhouten onderdelen. Gezaagd balkhout opzagen tot damwandplanken met dezelfde breedte is daarentegen onrendabel.
- De mate van toepassen van hergebruikt hout is kostenverlagend, dit geldt voor hergebruik in hetzelfde project (mits rendabel), maar ook als opbrengst te rekenen voor andere projecten.

Kosteneffectieve combinaties van hardhout en naaldhout

Het combineren van hardhout en naaldhout in een constructie is kostenverlagend. Voorbeelden hiervan zijn combi-damwand en combi-palen, waarbij het gedeelte onder de waterlijn (naaldhout) d.m.v. een vingerlastechniek aan elkaar worden verbonden. Bij lichtere constructies is het naaldhout geschikt om de belastingen op te nemen, terwijl er geen concessies aan duurzaamheid zijn door het gebruik onder water. Bij paalschot beschoeiingen worden veelal combischotten toegepast, waarbij de bovenste klampen van hardhout zijn en de onderste van naaldhout. Besparingen tussen 20 tot 50 % op de materiaalkosten zijn zeker haalbaar.



figuur 2-2: Gevingerlaste combi-damwandplanken hardhout - naaldhout



figuur 2-3: Combischot bestaande uit hardhout en naaldhout

Kosten van houten damwanden

Bij het gebruik van dikkere (minimaal 60 mm) en langere ($L > 6$ m) hardhouten damplanken wordt het normaliter prijstechnisch gunstiger om koudgeformde stalen damwand toe te passen. Wanneer er geen eisen zijn aan materiaalgebruik zal onder dergelijke omstandigheden stal prijstechnisch de voorkeur hebben.

2.1.2. Levensduurbenadering

De levensduur van een constructie hoeft niet direct samen te hangen met de kosten van een constructie. Duurzaam detailleren is ook van belang.

Ontwerpen en materialen die verschillen in levensduur worden onderling vergelijkbaar door Life Cycle Costing (LCC) of TCO voor een bepaalde referentieperiode waarin een object de gevraagde functie moet vervullen. In een LCC berekening wordt, naast de kosten voor realisatie van de constructie, ook de contante waarde uitgerekend van kosten voor onderhoud of vervanging die in de toekomst plaatsvinden. Deze worden dan opgeteld bij de investeringskosten die in het stichtingsjaar moeten worden gedaan. Op deze wijze worden ontwerpen en materialen met verschillende levensduur onderling objectief vergelijkbaar.

Een ontwerp met langere levensduur hoeft dus niet noodzakelijkerwijs het meest voordelig te zijn. Het gaat om de verhouding tussen stichtingskosten en levensduurkosten. Uiteraard is het halen van de ondergrens voor de levensduur wel een vereiste voor duurzame toepassing van houtconstructies.

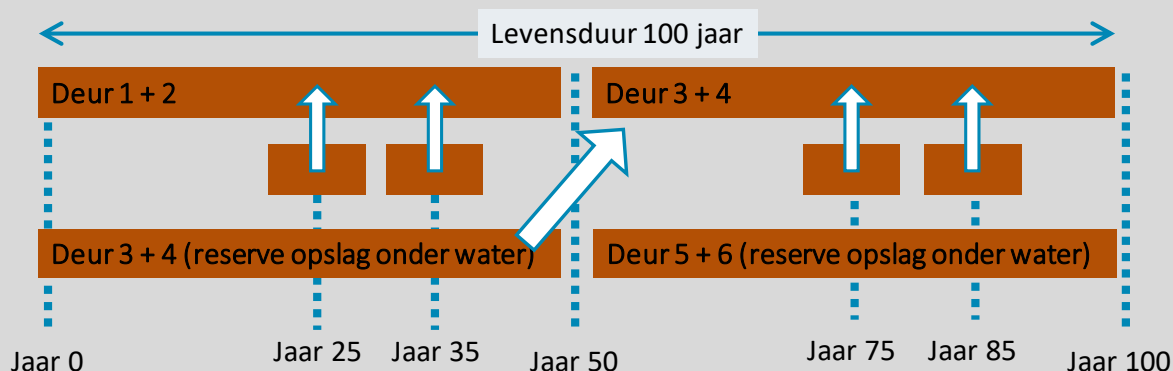
Hiermee wordt duidelijk dat de strategie voor de instandhouding van het kunstwerk van belang is voor de LCC. Dit dient te worden vastgelegd in een instandhoudingsplan (IHP).

TCO van houten sluisdeuren: een voorbeeld

In het project MultiWaterWerk Materialisatie Sluisdeuren van Rijkswaterstaat werd gevraagd 1 set sluisdeuren + 1 reserveset te beschouwen voor een referentieperiode van 100 jaar.

Door Rijkswaterstaat, TUDelft, Wijma Kampen en Ingenieursbureau Boorsma is op basis van referentieprojecten vastgesteld dat de levensduur van houten sluisdeuren 50 jaar kan bedragen. Mits goed gedetailleerd en met levensduurverlengend onderhoud aan het kleedhout rondom de waterlijn in jaar 35.

De strategie voor 100 jaar houten deuren ziet er dan als volgt uit:



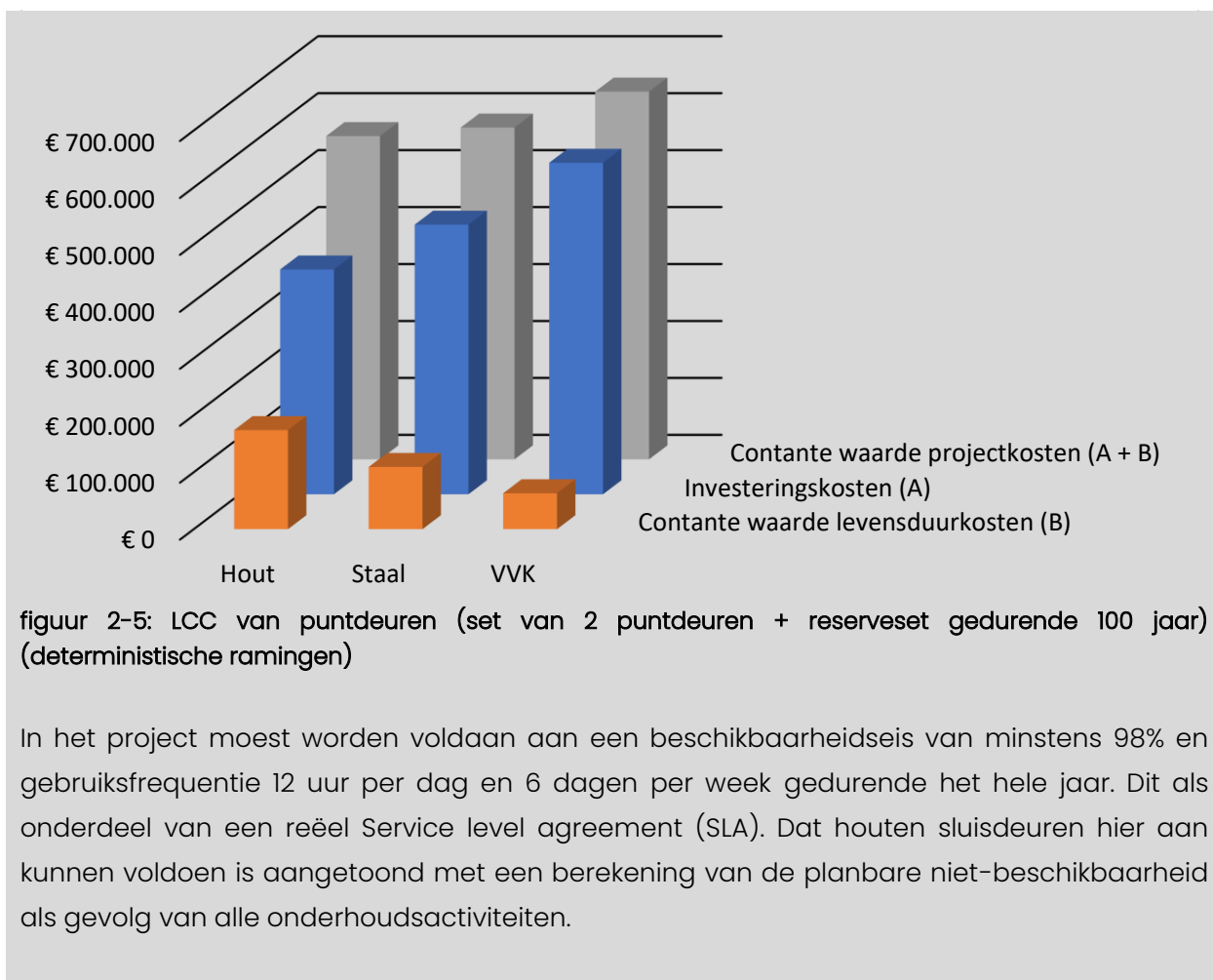
figuur 2-4: Beheer en onderhoudstrategie houten deuren voor referentieperiode 100 jaar

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 deurset (vervangen van hout rondom de waterlijn).

Door andere partijen in het project zijn deuren in hout, staal en vezelversterkte kunststof onderzocht.

In de LCC is rekening gehouden met de volgende aspecten:

- Stichtingskosten
- Kans op aanvaring (400 kNm) en kosten voor herstel
- Kosten voor onderhoud, transport en hijswerkzaamheden gedurende elke actie in de levensduur (waaronder jaarlijkse schoonmaakbeurt)
- Sloopkosten



Opslag onder water

In het project MultiWaterWerk is voor de houten reservedeur voorgesteld om deze onder water op te slaan. De kostenvoordelen voor de LCC van die keuze is evident. De beste bewaarplaats voor de houten reservedeuren is onder water. Het hout droogt niet uit waardoor het zou scheuren, het degradeert niet omdat UV licht niet doordringt onder water. Onder water is de temperatuur en het zuurstofgehalte te laag voor schimmels en zal het hout niet rotten. In de nabijheid van een sluis is in de meeste gevallen ruimte beschikbaar achter de fuik of het remmingwerk waar een deur met kettingen aan de palen van het remmingwerk en een meerpaal kan worden afgezonken omdat Azobé zwaarder is dan water. Sluizen waar de deuren op deze wijze zijn opgeslagen zijn onder andere Sluis II te Tilburg, Sluis IV te Haghorst en verschillende sluizen in Amsterdam.

Belangrijk uitgangspunt in LCC is de discontovoet. Uitgangspunten daarvoor kunnen worden ontleend aan het CBS of Steunpunt Economische Expertise (SEE) van Rijkswaterstaat. Bij SEE is ook informatie te verkrijgen over maatschappelijke kosten-

batenanalyse. Dat betreft bijvoorbeeld kengetallen voor de maatschappelijke kosten van omgevingshinder.

Methoden voor LCC / TCO

In het voorgaande is aan de hand van het voorbeeld houten sluisdeuren inzichtelijk gemaakt hoe verschillen in ontwerp, materialen, onderhoudsintensiteit financieel gezien dienen te worden vergeleken. De standaard systematiek voor TCO in de GWW is SSK 2018. Deze systematiek wordt uitgegeven door CROW. Voor het ramen van investerings- en exploitatiekosten van gebouwen en bouwkundige objecten wordt NEN 2699 gehanteerd, al dan niet op basis van de NL-SfB standaard. Het ramen van de levensduurkosten kan in beide systematieken op verschillende niveau's.

Kosten voor beheer en onderhoud

Voor activiteiten in de beheer- en onderhoudsfase wordt gebruik gemaakt van materialen en materieel die vergelijkbaar zijn met de bouw- en sloopfase.

Kostenbestanddelen sloopfase constructie:

Voor het demonteren (slopen) van een houten constructie wordt de kostprijs opgebouwd uit de volgende kostenbestanddelen:

- Groot materieel (kraan, indien noodzakelijk vanaf ponton/werkschip)
- Klein materieel (handgereedschap b.v. kettingzaag / cirkelzaag)
- Arbeid (houtbewerker, vakman waterbouw)
- Transportmiddelen voor aanvoer- en afvoer materialen
- Verwerkings- en of opslagkosten in depot.
- Waarde van de vrijkomende materialen.

2.2. Milieu schaduw kosten

In het voorgaande is ingegaan op de kosten voor de bouw en het onderhoud van houtconstructies in de GWW in financiële zin. De aanleg en instandhouding van constructies heeft niet alleen consequenties voor de begroting van opdrachtgevers, maar heeft ook een impact op het milieu en de leefomgeving welke ook wel worden aangeduid als milieu schaduw kosten. In het vervolg van deze paragraaf wordt ingegaan op de wijze waarop de effecten op het milieu kunnen worden bepaald middels een Levenscyclus analyse (LCA), en hoe deze kosten in valuta (€) kunnen worden uitgedrukt met de Milieu Kosten Indicator (MKI). CO₂-emissies zijn hiervan een onderdeel.

2.2.1. Levenscyclus analyse (LCA)

Een LCA is een helder gedefinieerde methode om de milieu impact van een product of element te analyseren. Een LCA kwantificeert de mogelijke milieueffecten van een product

of element gedurende de gehele levensfase, vanaf de winning van de grondstoffen, de productie, het gebruik en de eindfase, inclusief afvalverwerking, recycling en/of hergebruik.

Een LCA bestaat uit 4 fasen:

1. Bepalen doel en reikwijdte
2. Levenscyclus-inventarisatie (LCI)
3. Beoordeling van de milieu impact van de levenscyclus (LCIA)
4. Interpretatie

Een LCA dient te worden uitgevoerd volgens EN15804 en moet onafhankelijk worden getoetst aan de SBK-bepalingsmethode versie 3.0 (Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken. Zie: www.milieudatabase.nl). De SBK bepalingmethode geldt tevens als Product Category Rules (PCR) voor alle bouwproducten. De onderwerpen die onderzocht worden in een LCA zijn vastgelegd in ISO-richtlijnen (ISO 14000-serie: 14025, 14040 en 14044). Er zijn SBK formats voor het aanleveren van basisprofielen met milieu-informatie. Van vele producten is het resultaat van een LCA reeds opgenomen in de Nationale Milieudatabase (NMD).

Voor het berekenen van de milieu-impact categorieën wordt gebruik gemaakt van software (bijvoorbeeld Simapro) en milieudatabases. Standaard in Nederland is de SBK basisprocessendatabase. Daarnaast is er bijvoorbeeld de Ecoinvent-database.

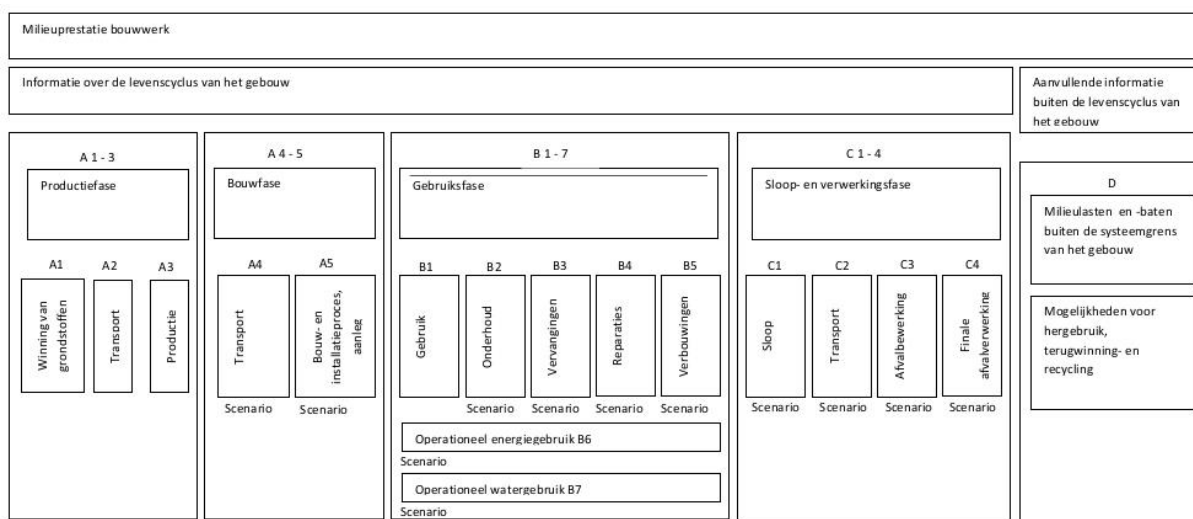
Zowel de Europese norm EN 15804 als de hierop gebaseerde Nederlandse

Bepalingsmethode SBK

onderscheiden vier hoofdmodules, die corresponderen met de verschillende fasen in de levenscyclus van een bouw materiaal;

- Module A (productie van materialen en bouw),
- Module B (gebruiksfase van het object),
- Module C (end-of-life fase van het object),
- Module D (milieulasten en-baten buiten de systeemgrens) (bijvoorbeeld hergebruik).

In onderstaande figuur zijn de modules uitgewerkt:



figuur 2-6: Schematische voorstelling van de modules A tot en met D als toegepast in EN 15804

In elke fase van de levensduur ontstaan baten en lasten voor het milieu. In een LCA wordt het effect op de volgende impact categorieën onderzocht:

Impact categorie	Eenheid	Vertaling
Abiotic depletion, non fuel	kg antimoon eq.	Abiotische uitputting, geen brandstof
Abiotic depletion, fuel	kg antimoon eq.	Abiotische uitputting, brandstof
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq.	Opwarming van de aarde (GWP100)
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFK-11 eq.	Aantasting ozonlaag (ODP)
Photochemical oxidation	kg ethyleen eq.	Fotochemische oxidatie
Acidification	kg SO ₂ eq.	Verzuring
Eutrophication	kg PO ₄ ⁻ eq.	Eutrofiëring (Voedselverrijking van water / overbemesting)
Human toxicity	kg 1,4- DB eq.	Toxiciteit voor de mens
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4- DB eq.	Aquatise ecotoxiciteit in zoet water
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	Mariene aquatische ecotoxiciteit
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	Terrestrische ecotoxiciteit

figuur 2-7: Impact categorieën LCA analyse

Hoe hout scoort in elk van deze categorieën wordt in het vervolg van dit onderzoek toegelicht bij de MKI van de Fietsbruggen. Middels de Milieu Kosten Indicator (MKI)

uit de SBK Bepalingsmethode kan de impact op het milieu worden uitgedrukt als schaduwkosten in geld (€).

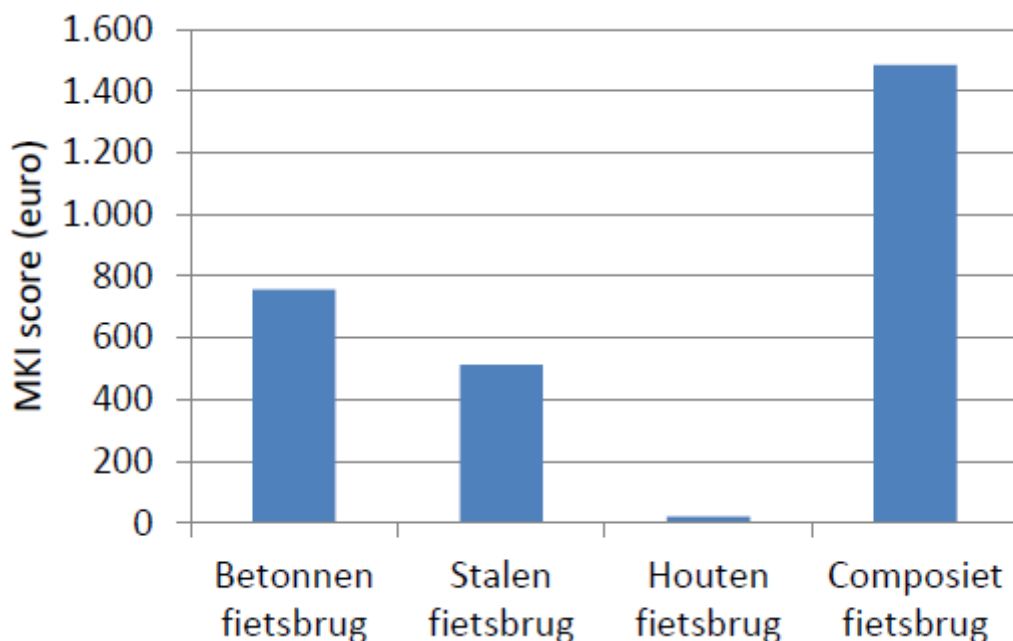
2.2.2. Milieu Kosten Indicator (MKI)

In verschillende onderzoeken is de MKI van houtconstructies vergeleken met beton- staal- en VVK- en kunststof-constructies. Conclusie van deze onderzoeken is dat houtconstructies de laagste milieubelasting veroorzaakt. Onderzoek is uitgevoerd naar:

- Fietsbruggen
- Damwanden
- Sluisdeuren

Fietsbruggen

In de studie 'Vergelijkende LCA studie bruggen – vaststellen van duurzaamheidsscore van bruggen uitgevoerd in staal, beton, composiet en hout' is de milieu-impact van twee brugtypen onderling vergeleken: een verkeersbrug en een fietsbrug. Hierbij hebben brancheverenigingen en bedrijven uit de beton-, staal-, composiet- en houtsector gezamenlijk de uitgangspunten bepaald en de benodigde data aangeleverd. De studie is uitgevoerd door ingenieursbeu BECO te Rotterdam (nu onderdeel van EY).



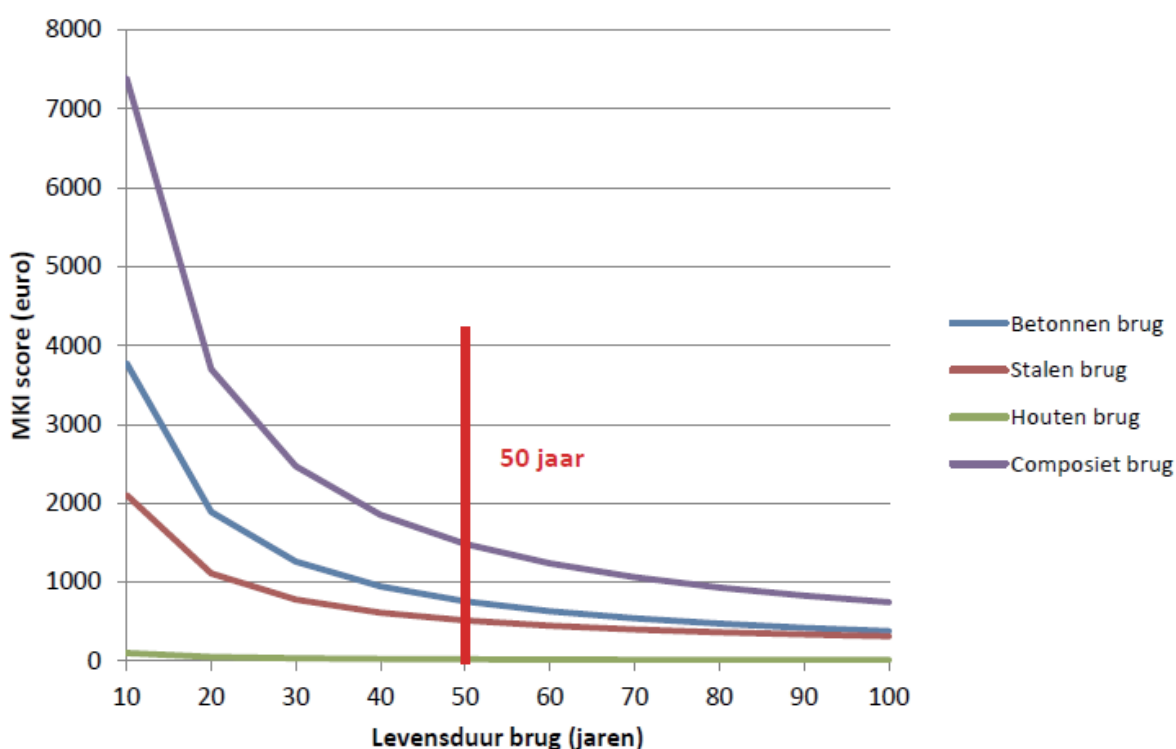
figuur 2-8: Vergelijking tussen de netto MKI scores van de verschillende bruggen

Hout heeft bij het ontwerp voor de fietsbrug niet alleen de laagste totale milieubelasting, maar levert van alle materialen de minste milieubelasting bij 8 van de 11 gemeten milieueffecten. Hout scoort op geen enkel punt het slechtst. Hout levert in drie van deze

categorieën zelfs een directe milieuwinst (negatieve belasting) en wel voor: hernieuwbare energie (terugwinning energie als biobrandstof), positieve bijdrage aan broeikas effect (door vastlegging CO₂ in hout) en bij toxische vervuiling van het zeewater.

De milieubelasting van de houten fietsbrug wordt met name veroorzaakt door de productie van de bovenbouw en het transport van de grondstof hout. Ook is de hoeveelheid primaire energie van de houten fietsbrug erg hoog. Dit komt omdat hout als materiaal een hoge calorische waarde (verbrandingswaarde) heeft. In tegenstelling tot het energieverbruik bij andere materialen, is dit echter hernieuwbare energie. Deze energie komt weer vrij in de afvalfase door verbranding van de brugonderdelen. Een groot deel van deze hernieuwbare energie wordt in verbrandingsinstallaties afgevangen en ingezet als groene energie.

De technische levensduur van fietsbruggen is in dit onderzoek, conform huidige regelgeving, bepaald op 50 jaar. Ondanks dat andere materialen claimen een langere levensduur (100 jaar) te hebben en daarmee 'duurzamer' te zijn, toont het rapport dat de houten variant zelfs met tussentijdse vervanging veruit de laagste milieubelasting te heeft. Belasting door onderhoud is meegenomen in de berekening.



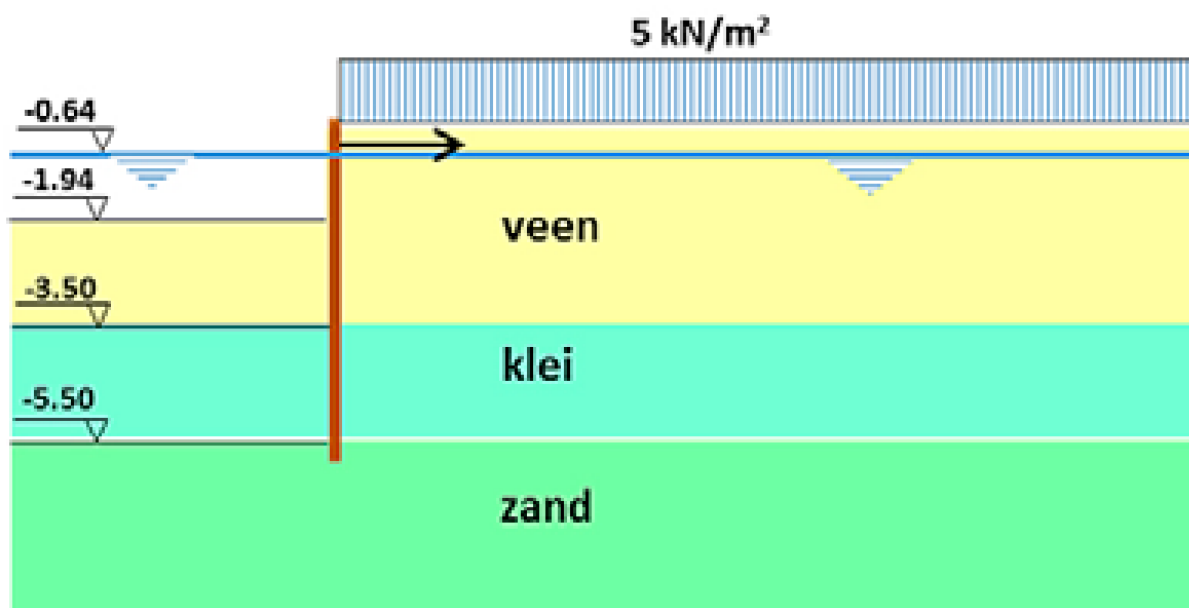
figuur 2-9: Vergelijking tussen de fietsbruggen bij verschillende levensduren

Tot slot geven de opstellers van het rapport aan dat bruggen, en andere ontwerpen, niet zomaar met elkaar vergeleken kunnen worden als het gaat om milieubelasting. Dit omdat de omstandigheden in de praktijk sterk kunnen verschillen en dit gevolgen heeft voor de uitgangspunten.

Damwanden

Damwanden zijn een belangrijke markt voor duurzaam geproduceerd tropisch hout, maar deze ondervindt ondanks de positieve milieu-eigenschappen van hout een toenemende concurrentie van damwanden van staal en (gerecycled) kunststof. Dit is aanleiding om een officiële studie te laten uitvoeren naar de milieuscores van houten damwanden uitgevoerd in de drie meest gebruikte, duurzaam geproduceerde, tropische loofhoutsoorten. Separaat is een verkennende studie uitgevoerd om de milieuscores van houten damwanden te vergelijken met die van (gerecycled) kunststof en staal.

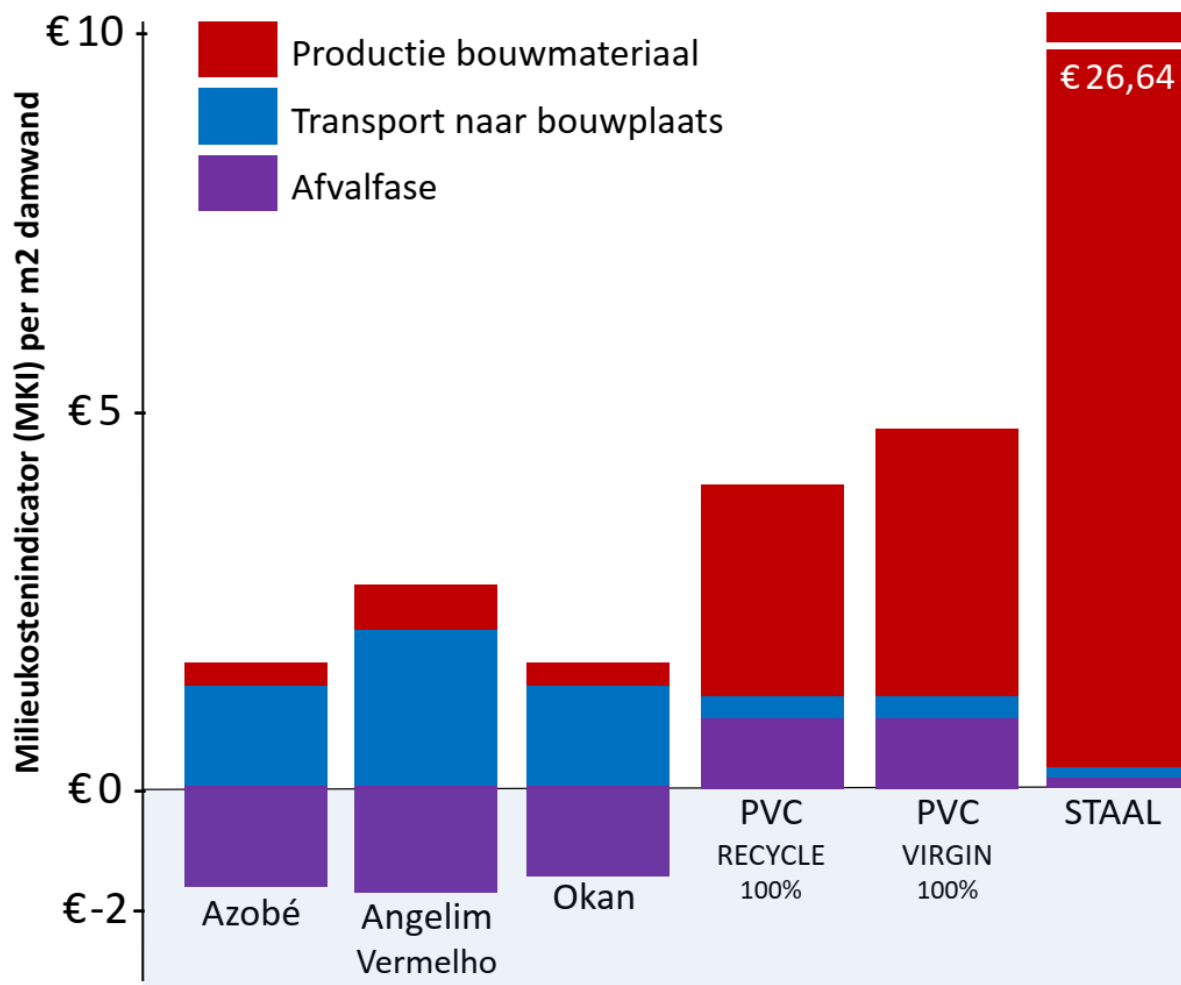
In de 'Vergelijkende LCA-studie damwanden' (E&Y 2016) is de MKI berekend voor damwanden in staal, kunststof en hout. In het (gevalideerde) onderzoek zijn uitgangspunten aangehouden zoals veel beheerders die hanteren: 30 jaar voor hout en kunststof, en 100 jaar voor de stalen damwand. Het onderzochte houten damwandprofiel is 50 mm dik met tong en groef, geleverd in vallende breedte, lengte 5 m, voorzien van een met stalen bout en moer bevestigde houten gording (150 x 100 mm) en representatief voor de praktijk (0,054 m³ hout per m²).



figuur 2-10: Toepassingssituatie van de damwand

Gerekend is met een aandeel hergebruik van houten damwanden van 25%. Het stalen damwandprofiel betreft PW3030 van koud gewalst staal. Voor kunststof is dit het type GW 460/5,5 Omega.

Uit de studie blijkt dat hout het beste scoort in vergelijking met staal en kunststof. Er zijn 3 houtsoorten onderzocht: Azobé, Okan, en Angelim Vermelho. Doordat Angelim Vermelho vanuit Zuid-Amerika een grotere transportafstand heeft dan Azobé en Okan, dat uit Afrika komt, is de MKI van Angelim Vermelho hoger.



figuur 2-11: MKI van damwanden

Impact category	Unit	Total	Production (A1,A2,A3,A5)	Transport to building site (A4)	Transport Waste (C2)	Waste Processing (C1,C3,C4)
Azobé	€/m²	0,19	0,51	1,22	0,13	-1,67
Angelim Vermelho	€/m²	1,12	0,69	2,01	0,14	-1,73
Okan	€/m²	0,20	0,49	1,11	0,11	-1,51
Steel	€/m²	26,64	26,35	0,20	0,04	0,05
PVC (100% recycled)	€/m²	4,19	2,73	0,32	0,02	1,11
PVC (100% virgin)	€/m²	4,79	3,34	0,32	0,02	1,11

figuur 2-12: MKI per module van de Levens Cyclus Analyse (LCA)

Sluisdeuren

In het project MultiWaterWerk Materialisatie Sluisdeuren van Rijkswaterstaat is onderzoek gedaan naar LCC en LCA van sluisdeuren (puntdeuren). De Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken (ROK) van Rijkswaterstaat waren leidend. Ook functionele eisen zoals

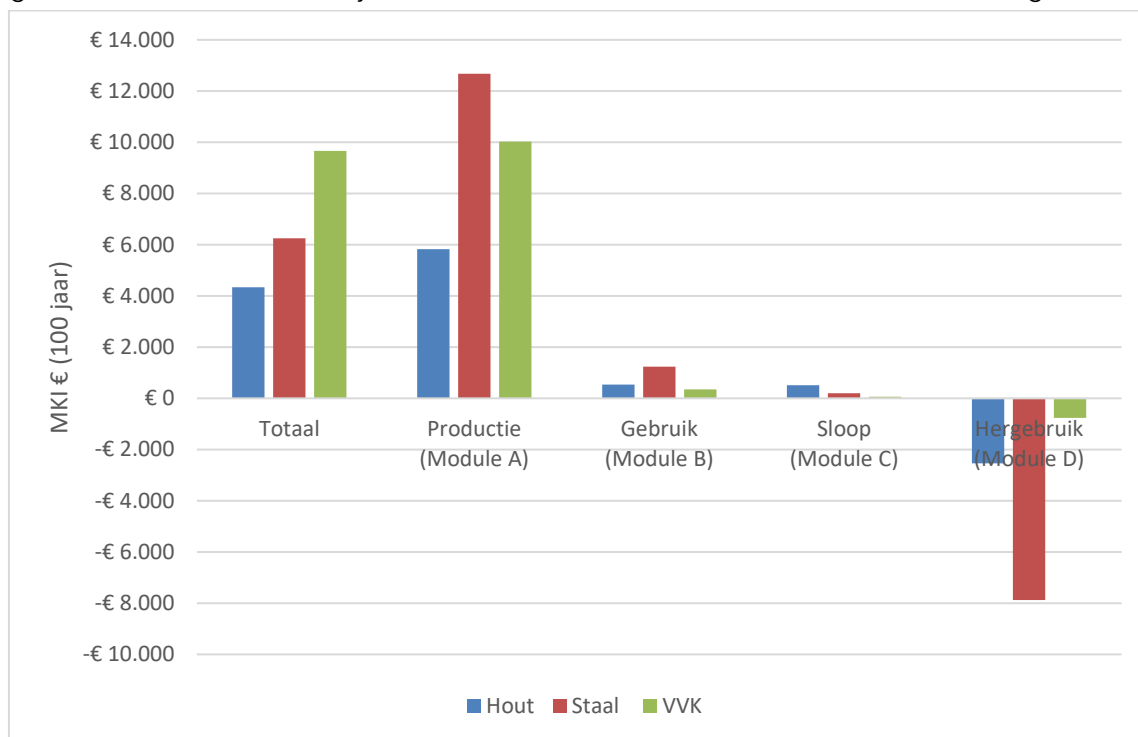
beschikbaarheid zijn vastgelegd en voor alle materialen hetzelfde. Scope van het onderzoek was 1 set sluisdeuren + 1 reserveset voor een referentieperiode van 100 jaar.

In het onderzoek is Sluis 5 in de Zuid-Willemsvaart nabij Keldonk (Noord-Brabant) als casus gedefinieerd. De casus heeft de volgende ontwerpparameters:

- Doorvaartbreedte: 12,60 m
- Deurhoogte: 6,63 m
- Verval over de deur: maximaal 2,18 m
- Aanvaarbelasting: 400 kNm

De houten sluisdeur is uitgewerkt op de klassieke wijze 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 halspen en taatskom. Als houtsoort is tropisch hardhout Azobé met FSC-keurmerk gekozen. In het ontwerp is een verbeterde geometrie voor de pen-gat verbinding toegepast.

In onderstaande grafiek zijn de MKI-waarden weergegeven voor verschillende materialen. Duidelijk is te zien dat de productie (module A) en module D dominant zijn. Module D betreft de MKI voor 'vermeden productie van energie en voorkomen productie van primaire grondstoffen'. Dit betreft bijvoorbeeld de mate waarin materialen worden hergebruikt.



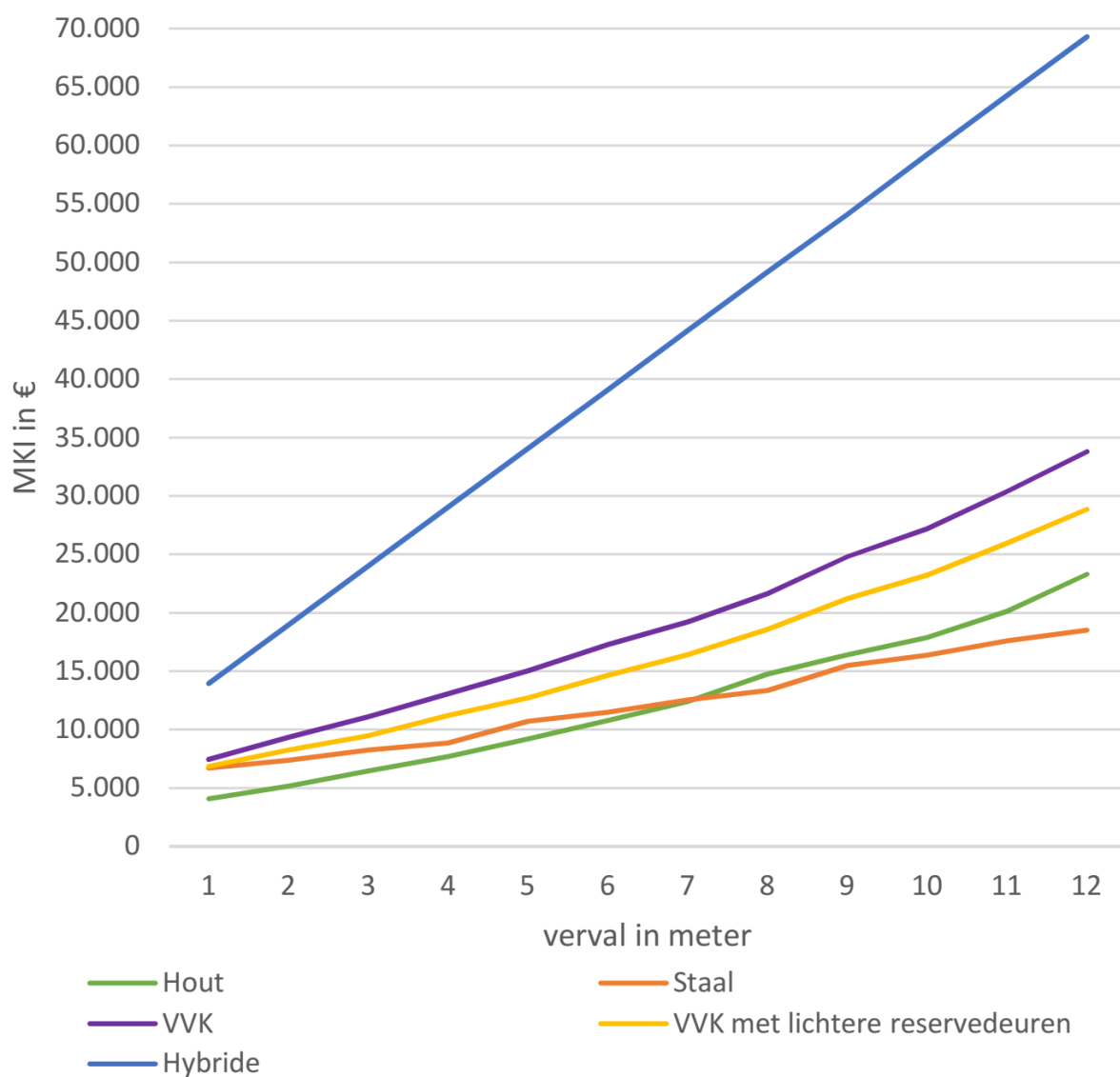
figuur 2-13: MKI voor set van 2 puntdeuren + reserveset gedurende 100 jaar (casus)

	Hout	Staal	VVK
Totaal	€ 4.332	€ 6.246	€ 9.667
Productie (Module A)	€ 5.819,83	€ 12.675,58	€ 10.018,72
Gebruik (Module B)	€ 539	€ 1.240	€ 346,07
Sloop (Module C)	€ 516,84	€ 203,14	€ 62,18
Hergebruik (Module D)	-€ 2.544	-€ 7.872	-€ 760

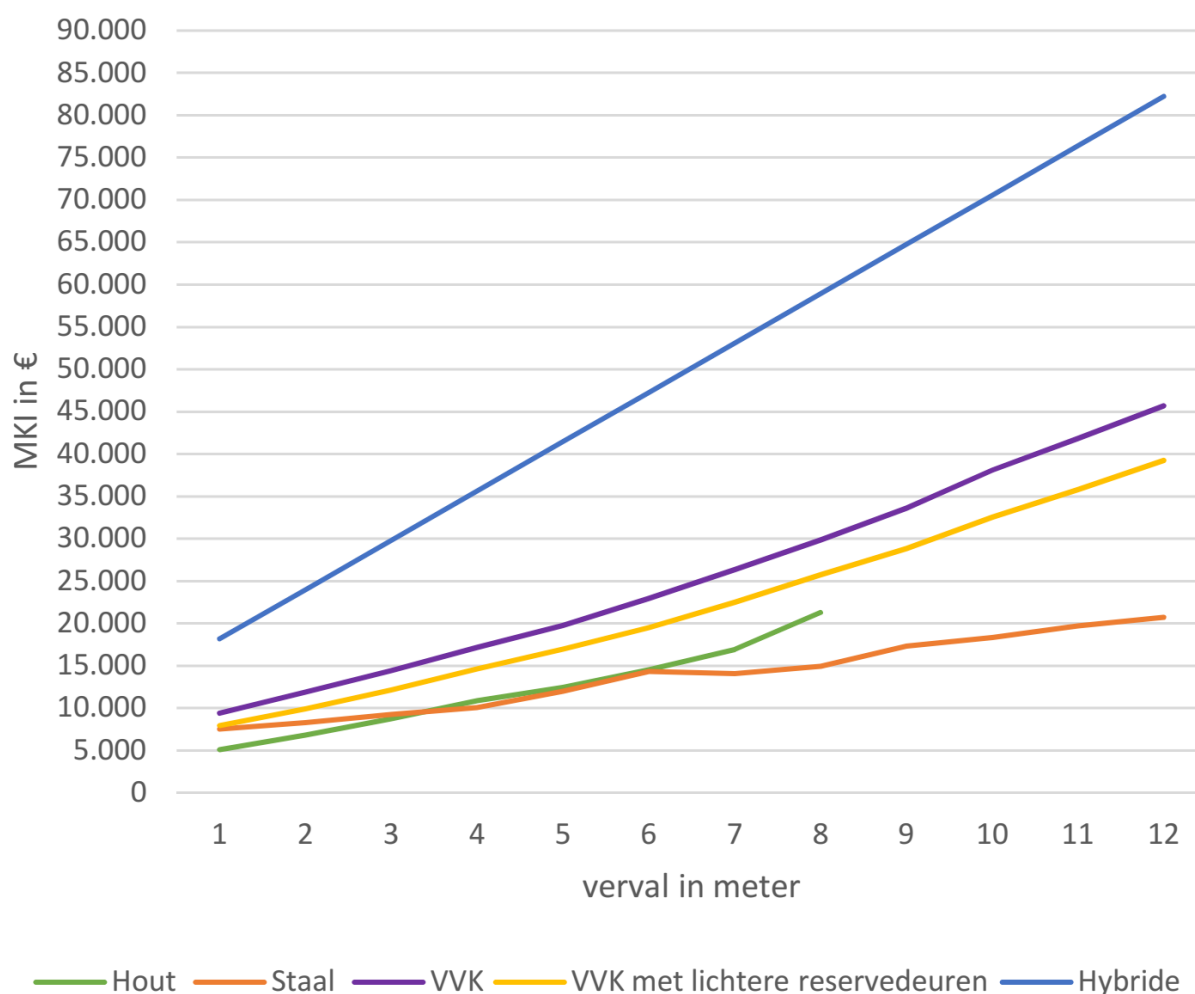
figuur 2-14: MKI voor set van 2 puntdeuren + reserveset gedurende 100 jaar (casus)

Daarnaast is een parametrische ontwerptool gemaakt waarin ontwerpen kunnen worden gegenereerd binnen een bandbreedte van doorvaartbreedte, deurhoogte en verval over de deur.

Met de tool is een gevoeligheidsanalyse gemaakt waaruit blijkt dat hout het beste scoort voor een doorvaartbreedte van 10,5 en 12,5 m met een verval tot respectievelijk 7 en 3 meter. Voor groter verval of doorvaartbreedte is het beter staal toe te passen.



figuur 2-15: MKI voor het verval over de sluisdeuren bij doorvaartbreedte van 10,5 m



figuur 2-16: MKI voor het verval over de sluisdeuren bij doorvaartbreedte van 12,5 m

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. Houten deuren zijn dan ook voor een doorvaartbreedte van 11,5 en 12,5 toepasbaar tot respectievelijk een bijpassend maximaal verval van 10 en 8 meter.

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.

2.3. Hergebruik

Hergebruik van hout kan kostenvoordelen opleveren en is van zeer gunstige invloed op de milieu-effecten die aan dat hout moeten worden toegerekend. In projecten van Rijkswaterstaat maakte hergebruikt hout in 2004 reeds 13% uit van het totaal aandeel gebruikte tropisch hardhout. In damwandprojecten ligt het aandeel hergebruikt hout op gemiddeld 25%. Dit percentage zal in de nabije toekomst nog sterker toenemen. Onder andere geopolitieke kwesties zoals het handelsconflict tussen de VS en China dragen bij aan schaarste waardoor het aandeel hergebruik zal stijgen.

De impact van hergebruik op de LCA (module D) en LCC (restwaarde bij sloop) is in het voorgaande duidelijk geworden (zie §2.1.2 en §2.2).

De mate van herbruikbaarheid is van belang. Herbruikbaarheid kan als volgt worden gecategoriseerd:

Categorie	Toepassing	Beschrijving
1a & 1b	Hergebruik in dezelfde functie	Het product in dezelfde functie hergebruikt binnen het werk (a) of buiten het werk op projecten van aannemer (b).
2a & 2b	Hergebruik in een andere functie	Het product wordt in een andere functie hergebruikt binnen het werk (a) of buiten het werk op projecten van de aannemer (b).
3	Hergebruik door derden	Het product wordt verkocht aan derden die het vervolgens in dezelfde functie hergebruiken.
4	Recyclen	Het product wordt gerecycled zodat het materiaal opnieuw kan worden ingezet om een product met gelijkwaardige functie te creëren.
5	Downcyclen	Het product wordt gerecycled zodat het materiaal opnieuw kan worden ingezet, alleen verliest het product wel waarde t.o.v. de oorspronkelijke functie.
6	Biologisch restmateriaal	Als het product gemaakt is van biologisch materiaal, zoals hout, en zijn einde levensduur heeft bereikt is het mogelijk dit product te composteren.
7	Afval	Het product heeft zijn einde levensduur bereikt en wordt verbrand of gestort.

figuur 2-17: Tabel afgeleid van Butterfly Diagram; Ellen Macarthur Foundation

Het spreekt voor zich dat de manier van demonteren van groot belang is voor de herbruikbaarheid:

- grof demonteren = lage herbruikbaarheid
- verfijnd demonteren op bouwdeel = hoge herbruikbaarheid

Hoe hogere de plek in de tabel, des te groter is de waarde uit te drukken in opbrengst (baten). Categorie 7 betekent vrijwel altijd dat er kosten zijn verbonden aan het materiaal en dat er dus geen sprake is van enkele meerwaarde.



figuur 2-18: Herbruikbare Basralocus palen

De kosten voor het bewerken en transporteren van vrijgekomen materiaal voor hergebruik zijn normaliter aanzienlijk lager ten opzichte van het leveren van nieuw materiaal. Door het goed inspecteren en categoriseren van de vrijkomende materialen kan dit dus zeker kostenvoordeel opleveren. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met aspecten die dit gunstige verschil kunnen elimineren:

- Bovenmatige aanwezigheid van bevestigingsmiddelen en/of ander staalwerk in het te demonteren hout, geeft grote vertraging of zelfs schade aan machines bij de bewerker van het hout. Bij het aanleveren zal dus al het ijzerwerk uit het gedemonteerde hout verwijderd moeten zijn. Door het zorgvuldig demonteren en het gebruik van b.v. een metaaldetector kan een groot deel preventief gesignaleerd en verwijderd en kan vertraging en schade worden voorkomen.

- Het gedemonteerde hout kan het beste rechtstreeks naar een bewerker worden gebracht, wanneer het hout te vaak wordt verplaatst of te lang in depot wordt gezet, worden deze kosten te hoog, zodat na bewerkingskosten er geen verschil met nieuwe leverantie is.
- Hout heeft een hogere waarde als constructiehout als de lengtes zo lang mogelijk zijn. Gordingen en balken vanaf 5,00 meter zijn goed toe te passen in bijvoorbeeld remmingwerken of steigerconstructies. Korte delen van 1 a 2 meter zijn in principe hiervoor waardeloos omdat deze geen overspanning kunnen bereiken, hooguit kan dit nog als wrijfhout worden toegepast (mits voldoende dikte)
- Vrijgekomen hout dient in depot goed worden opgeslagen. Doorbuiging moet worden voorkomen door de pakketten te ondersteunen met stophout. Weersinvloeden als zon en vocht kunnen het materiaal snel doen degraderen. Het vrijgekomen hout moet goed kunnen doortochten en bij voorkeur onder een overkapping zodat kromtrekken door droogte kan worden voorkomen. Door een goed depotbeheer kan de kwaliteit en daarmee de meerwaarde van het hout langer worden gegarandeerd.



figuur 2-19: Remmingwerk waarbij gebruikte basra-locus palen zijn toegepast, Zwolle

De aantoonbaarheid van goed hergebruikt hout kan middels een keuring conform de NEN5493 "kwaliteitseisen voor loofhout in gww-werken en andere constructieve toepassingen worden bereikt. Houten onderdelen kunnen op basis van deze NEN-norm worden gekeurd, en bij twijfel over houtsoort kunnen houtmonsters genomen worden voor micro- en macroscopisch onderzoek in een laboratorium. Een gecertificeerd inspectie- of ingenieursbureau beoordeelt visueel en mechanisch de partij hout op defecten en rapporteert deze. Het rapport en de toelichting van de certificerende instantie geeft een eenduidig en helder beeld over de staat van het hout.

Voorbeelden van vrijkomende materialen opnieuw toegepast in waterbouwkundige constructies:

- Palen van Basralocus hout die getrokken worden bij de sloop van een constructie, zijn onder de waterlijn (splash-zone) nog in goede staat. Na het verwijderen van het gedeelte boven de splash-zone blijft er een kortere maar kwalitatief goede paal over.
- Basralocus palen kunnen in sommige gevallen, bijvoorbeeld bij een lichte mate van in-tering op de splash-zone ook worden "omgekeerd", hierdoor wordt het verweerde deel geheel ingeklemd in de bodem en is de punt van de paal die altijd onder water heeft gestaan geschikt om als bovenkant te dienen.
- Houten damwand die verwijderd wordt, is onder de waterlijn (splash-zone) nog in goede staat. Na het verwijderen van het gedeelte boven de splash-zone blijft er een kwalitatief goede damplank over.



figuur 2-20: Damwandplanken voor hergebruik

- Vrijkomende wrijfgordingen van remmingwerken welke licht verweerd en ingeteerd zijn kunnen worden opgezaagd en geschaafd tot kleinere afmetingen.
- Vrijkomende langs- en dwarsliggers van steigers kunnen in sommige gevallen “op de kop”, d.w.z. 180 graden worden gedraaid. Het verweerde deel (contactvlak met dekplanken) ligt onderop en het goede hout ligt bovenop. Door het verkleinen van de h.o.h. stand van de jukken kan alsnog aan de doorbuigings- en sterkte eis worden voldaan.
- Palenrij-beschoeiingen kunnen eenvoudig en met lage kosten worden omgebouwd tot natuurvriendelijke oevers, door het afzagen van de palenrij onder de waterlijn en het monteren van een houten gording onder de waterlijn wordt een onderwaterbeschoeiing verkregen waar achter een natuurlijk plas-dras talud kan worden aangelegd met b.v. waterplanten.

2.4. Levensduurverlengende technieken

Omdat levensduur bepalend is voor levensduurkosten en MKI en deze aspecten van het ontwerp steeds belangrijker worden, zijn levensduurverlengende technieken van toenemend belang voor houtconstructies in de GWW. Voorbeelden zijn:

- Protekta
- Nobelwood Foreco
- Accoya

2.5. Toepassingsbereik van hout in de GWW

Het toepassen van houten constructies in de GWW is in de 21^e eeuw geen absolute vanzelfsprekendheid meer. Door een hogere scheepvaartintensiteit op rivieren, kanalen en havens en het groter worden van schepen voor de beroepsvaart zijn er de laatste decennia tal van opwaarderingen, verdiepingen en verruiming van vaarwegen en havens gerealiseerd. Deze schaalvergroting heeft tot gevolg dat hout vooral qua sterkte, lengte en levensduur tegen beperkingen aan loopt.

Vaarwegen en havens voor de beroepsvaart zijn vaak voorzien van stalen damwanden als oeverbeschoeiing en bij renovatie van kunstwerken als sluizen en bruggen zijn materialen als staal en kunststof de norm voor wacht- en aanlegsteigers, meerpalen en remmingwerken.

In kleinere vaarwegen voor recreatievaart en watergangen wordt hout wel vaker toegepast, toch zien we ook steeds vaker verschillende kunststof materialen terugkomen als

oeverbeschoeiing en aanlegsteigers. Tegenwoordig zijn er dus verschillende materialen geschikt, met ieder hun eigen voor- en nadelen.

In de waterbouw is het toepassen van hardhout dan geen vanzelfsprekendheid meer, toch is het een relatief goedkoop en goed verkrijgbaar en bewerkbaar materiaal wat als sluisdeur, damwandconstructie, wacht- en aanlegsteiger, meerpaal en/of remmingwerk ook voor de toekomst meerwaarde biedt.



Gerben Sondermanstraat 2
9203 PV Drachten

Postbus 647
9200 AP Drachten

T +31 (0) 88 0188 300
E drachten@boorsma.com

Hardwareweg 34
3821 BM Amersfoort

Postbus 2505
3800 GB Amersfoort

T +31 (0) 88 0188 360
E amersfoort@boorsma.com

Het Spijk 18C
8321 WT Urk

T +31 (0) 88 0188 380
E urk@boorsma.com

W www.boorsma.com



NLIINGENIEURS

Alle opdrachten worden aanvaard en uitgevoerd overeenkomstig de 'De Nieuwe Regeling 2011 (DNR 2011) - Rechtsverhouding opdrachtgever - architect, ingenieur en adviseur', gedeponeerd ter griffie van de Rechtbank te Amsterdam, met dien verstande dat aan ons de vrijheid voorbehouden blijft om een geschil in afwijking van de DNR 2011 in eerste instantie voor te leggen aan de gewone rechter, bevoegd ter plaatse van onze hoofdvestiging. De DNR 2011 ligt ter inzage ten kantore van Boorsma B.V.