



Houten verkeersbruggen

Kennis & Ervaringen

26 JULI 2020

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Contactpersoon: Jeroen Nagel

Innovita advies & projectbegeleiding
Auteur: Andries van Ekeveld



Dankwoord voor informatie en fotomateriaal

Alle personen en bedrijven die aan deze verkenning hebben bijgedragen worden bedankt voor de waardevolle inbreng. De publicatie van deze verkenning heeft op zich laten wachten om zodoende zoveel mogelijk foto's te kunnen gebruiken. Iedereen wordt bedankt die daaraan heeft bijgedragen. De positieve deelname en de transparantie in de verstrekking van gegevens en foto's laat daarbij iets zien van het gedeelde belang voor vergroening in de GWW-sector.

Voor de foto's en afbeeldingen in dit rapport is toestemming gevraagd voor publicatie en plaatsing op de website van RWS. Het plaatsen of publiceren van (delen van) dit rapport via enig medium is geheel voor eigen risico.

Foto omslag: PIRMIN JUNG Schweiz AG, www.pirminjung.ch.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	4
1. Introductie	6
2. Aanpak	8
3. Resultaten interviews	9
3.1 Ontwerplevensduur	9
3.2 Materialisering	9
3.3 Afwerking	15
3.4 Detaillering	16
3.5 Houten bruggedelen	17
3.6 Opschaling naar verkeersbrug	18
3.7 Aanbesteding & realisatie	18
4. Referenties van houten verkeersbruggen	21
5. Een overzicht van bruggenbouwers	35
6. Bouwbaarheid van houten verkeersbruggen in Nederland	37
6.1 Materialisering & Detaillering	37
6.2 Aanbesteding & Realisatie	39
6.3 Beheer & Onderhoud	40
7. Conclusies en Aanbevelingen	43
7.1 Conclusies	43
7.2 Aanbevelingen	43
8. Geraadpleegde bronnen	45

Samenvatting

Het toepassen van hout biedt een positieve bijdrage aan de reductie van CO₂ en past daarmee in de groene ambitie van Rijkswaterstaat in de GWW-sector. Om de mogelijkheden van hout in verkeersbruggen in kaart te brengen, is in opdracht van Rijkswaterstaat een verkenning uitgevoerd naar de toepassing van houten verkeersbruggen in Europa. Er is gekozen voor een 'twee sporen' benadering: een internet-search naar houten verkeersbruggen en interviews met Nederlandse bruggenbouwers.

Verkeersbruggen in Europa

Via een internetstudie blijken in Europa (en daarbuiten) frequent houten verkeersbruggen te worden gebruikt. In dit rapport worden 40 bruggen gepresenteerd met enkele kerngegevens voor zover die online beschikbaar waren. Vooral in 'houtlanden' zoals Noorwegen, Zweden, Duitsland en Zwitserland wordt hout structureel toegepast. Opvallend is dat vrijwel overal gebruik gemaakt wordt van gelamineerd naaldhout. Om de levensduur van de draagconstructie te vergroten wordt deze veelal gedeeltelijk of volledig beschermd. Dat kan door de constructie onder het wegdek te plaatsen of door het gebruik van afdekkers van hout of zink.

In Nederland komen houten verkeersbruggen in beperkte mate voor. Afgezien van talloze verkeersbruggen met een kleine overspanning, zijn er enkele grotere verkeersbruggen in Groningen en Friesland bekend. Vaker wordt er in Nederland gekozen voor houten wandel/fietsbruggen, die aanzienlijke lengtes kunnen hebben tot zelfs honderden meters. Daarbij wordt naast gelamineerd naaldhout ook gekozen voor gelamineerd Accoya en tropisch hardhout.

Bruggenbouwers

Uit de interviews met bruggenbouwers blijkt dat de bruggenbouwers houten verkeersbruggen in Nederland wel haalbaar achten. De opschaling van nu gangbare houten bruggen naar grotere verkeersbruggen is in feite geen principiële verandering. De constructie moet in staat zijn zwaardere belastingen en hogere verkeersintensiteiten te kunnen opvangen. Voor een goede levensduur in het Nederlandse klimaat is een goede detaillering/materialisering essentieel. De voorbeelden van een beschermde brugconstructies in dit rapport kunnen daarbij inspireren. De bruggenbouwers geven aan dat een ontwerp levensduur van 80 of 100 jaar weinig realistisch is. Veel bruggen blijken die leeftijd niet te halen. Dat komt bijvoorbeeld omdat bruggen na verloop van jaren veelal niet meer voldoen aan het toegenomen gebruik, de verandering in de bebouwing, of de nieuwe infrastructuur.

In het kader van de aanbesteding geven de bouwers aan dat het aanbesteden van een brugontwerp, eventueel in bouwteam verband, essentieel is. In een standaard design&construct aanbesteding is de inspanning om een houten ontwerp aan te bieden een te grote en risicovolle investering. De bereidheid om aan een ontwerp in hout mee te doen is door diverse bouwers nadrukkelijk uitgesproken.

Conclusie

Extra aandacht voor het bouwen van houten verkeersbruggen in Nederland lijkt daarmee zinvol en een interessant speerpunt voor beleid. Aandacht voor de genoemde randvoorwaarden is daarbij belangrijk.

1. Introductie

In de strijd tegen klimaatverandering zijn twee thema's dominant: energie en grondstoffen. Een van de huidige uitdagingen is om het gebruik van eindige grondstoffen te staken. De transitie van een lineaire naar een circulaire economie is een manier om daar invulling aan te geven. De Nederlandse overheid heeft daar nadrukkelijk voor gekozen. In 2050 moet de Nederlandse economie honderd procent circulair zijn.

Nu is circulariteit te typeren als een begrip in ontwikkeling. In ieder geval is duidelijk dat er reductie van primaire grondstoffen zal moeten plaatsvinden en dat hergebruik van belang is. In een circulaire economie worden alle grondstoffen hergebruikt. Zo draagt circulariteit bij aan een lagere milieu-impact. Het is te verwachten dat hergebruik alleen niet voldoende zal zijn om aan de grondstofbehoefte te kunnen voldoen. De consumptie kan stijgen in de komende jaren en in veel gevallen zijn aanvullende grondstoffen nodig. Uit een recente inventarisatie in de bouwsector blijkt bijvoorbeeld dat met sloopmaterialen bij lange na niet voldoende materiaal beschikbaar komt voor nieuwbouw.¹ In de GWW-sector zal dat niet heel anders zijn. Het gebruik van hernieuwbare grondstoffen (biobased materialen) past heel goed in een circulaire economie. In een verkenning uit 2010 wijst Arcadis al op het gebruik van hernieuwbare grondstoffen als 'laaghangend fruit'.² Het duurzaam detailleren van ontwerpen met het oog op levensduurverlenging en toekomstig hergebruik kan al op korte termijn worden geïmplementeerd.

Door deze beweging verschuift de focus naar hernieuwbare grondstoffen die op een verantwoorde wijze gewonnen worden en op een duurzame manier worden ingezet. Hout is daarbij de meest voor de hand liggende grondstof die bovendien per direct ingezet kan worden. Bouwen met hout doet de mensheid al vele eeuwen. In Nederland is veel ervaring opgedaan met het gebruik van hout in de B&U-sector en de GWW-sector, maar door het gebruik van 'moderne' materialen is veel kennis over hout-toepassen verloren gegaan.

Als bijdrage aan het Nederlandse milieubeleid heeft Rijkswaterstaat (RWS) ambitieuze doelstellingen gesteld: 30% minder uitstoot in 2020 en in 2030 klimaatneutraal.³ Daarnaast kijken veel

¹ NWO, *Opcirkelen in de Bouw*, 2019.

² Arcadis, *Focus op duurzaamheid in het GWW-aanbestedingsproces. Een verkenning*, 2010: 13.

decentrale overheden naar de aanpak van RWS. Daarmee inspireert en stimuleert RWS om vanuit het grondstoffenperspectief bij te dragen aan Nederlands milieubeleid. In dat kader is door RWS en verschillende partners, waaronder Centrum Hout, een ketensamenwerking ‘Meer hout in de GWW’ opgezet om hieraan invulling te geven. Uit een recente inventarisatie blijken er onder andere kansen te zijn voor houten verkeersbruggen in Nederland.⁴

In het kader van het streven naar een circulaire economie is een ontwerpteam van RWS met onder andere een ingenieursbureau gestart met een schetsontwerp voor een houten verkeersbrug in Nederland in tropisch hardhout en gelamineerd Accoya.⁵ Met houten verkeersbruggen is in Nederland niet veel ervaring opgedaan. De twee Accoya-bruggen in Sneek zijn recente voorbeelden maar heel veel meer bruggen van deze overspanning en verkeersklasse zijn niet bekend. Daarom is het voor RWS belangrijk om te verkennen wat de ervaringen zijn met houten verkeersbruggen in andere (Europese) landen.

Het doel van deze verkenning is om in kaart te brengen welke spelers bereid zijn om mee te werken aan de realisatie van een houten verkeersbrug in Nederland, wat belangrijke voorwaarden voor deelname zijn en wat de ervaringen met houten verkeersbruggen in Nederland en andere (Europese) landen zijn. Een analyse van de verkregen informatie geeft inzicht in mogelijke (overbrugbare) belemmeringen om een houten verkeersbrug in Nederland te realiseren.



Figuur 1: Accoya verkeersbrug over de A7 bij Sneek. Foto: Onix.nl.

³ Zie: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2018/05/rijkswaterstaat-zet-volgende-stap-in-co2-reductie.aspx>

⁴ Twynstra Gudde, *Verkenning ketensamenwerking hout in de GWW*, 2019: 18-20.

⁵ Het betreft een ontwerp voor een variantenstudie in het vervangings- en renovatieprogramma van RWS. Naast bekende tropische houtsoorten als Azobé wordt ook de toepassing van minder bekende tropische houtsoorten en Europees naaldhout overwogen.

2. Aanpak

Het gaat in deze verkenning om twee onderdelen: welke bouwbedrijven zijn bereid en in staat om houten verkeersbruggen in Nederland te bouwen en wat zijn de ervaringen (inclusief referenties) met houten verkeersbruggen. Om dat te bereiken is er allereerst gekozen voor een selectieve benadering van Nederlandse bouwbedrijven. Infrastructurele projecten worden in de regel door de aannemerij gerealiseerd. Toch is aannemelijk dat weinig GWW-aannemers zelfstandig in staat zijn om houten verkeersbruggen in de zwaardere verkeersklassen te bouwen. In de aanpak is daarom gekozen voor een directe benadering van bedrijven die gespecialiseerd zijn in het bouwen van bruggen. Diverse Nederlandse partijen zijn bezocht of telefonisch benaderd. Vooraf is een semi-gestructureerde vragenlijst opgesteld die het uitgangspunt vormde voor het gesprek. In de gesprekken is aandacht besteed aan de rol van het betreffende bedrijf in het bouwen van houten verkeersbruggen, eventuele ervaringen daarmee en eventuele aandachtspunten/belemmeringen. Tenslotte is ook gevraagd naar welke randvoorwaarden voorzien worden om realisatie mogelijk te maken.

Bij de interviews werden diverse referenties genoemd van houten (verkeers)bruggen. Vervolgens is via internet uitgebreid gezocht naar referenties in andere Europese landen (en daarbuiten). Via het netwerk van RWS, Innovita en de ketensamenwerking 'Meer hout in de GWW' zijn verschillende referenties aangeleverd. De referenties zelf leidden weer naar bouwers van houten verkeersbruggen.

Bij de interviews kwamen ook andere relevante bedrijven ter sprake, in Nederland en daarbuiten, die in staat zijn om houten verkeersbruggen te bouwen. Via internet is dat geverifieerd, waarbij de vermelding van referenties van houten verkeersbruggen op de bedrijfswebsites een belangrijk criterium vormt. Op deze manier is een lijst van bedrijven tot stand gekomen (hoofdstuk 5).

Tenslotte is beperkt aandacht besteed aan wetenschappelijke publicaties over houten verkeersbruggen. Daarbij is in een aantal gevallen ook relevante informatie gevonden over bepaalde bruggen en zijn aandachtspunten rondom de bouw en het onderhoud van houten verkeersbruggen naar voren gekomen.

De analyse van de gevonden resultaten leidde tot een beargumenteerd antwoord op de vraag naar de bouwbaarheid van houten verkeersbruggen in Nederland.

3. Resultaten interviews

De inzichten uit de interviews (zie hoofdstuk 5) zijn samen te vatten in de volgende zes onderwerpen: ontwerplevensduur, materialisering, detaillering, bruggedelen, opschaling van fiets/voetgangersbrug en aanbesteding & realisatie. Deze onderwerpen komen achtereenvolgens aan de orde in afzonderlijke paragrafen.

3.1 Ontwerplevensduur

Het schetsontwerp voor de variantenstudie gaat uit van een ontwerplevensduur van 100 jaar voor beton en staal. De bruggen in Sneek zijn ontworpen voor een levensduur van 80 jaar.⁶ Alle geïnterviewde bedrijven geven echter aan dat een ontwerplevensduur van 80 of 100 jaar weinig realistisch is. Enkele bedrijven maken melding van een RWS-onderzoek waaruit blijkt dat 80% van de bruggen al voor het einde van de ontwerplevensduur zijn functie verliest vanwege landschappelijke en/of planologische veranderingen. Daarnaast is het erg moeilijk te voorspellen wat de verkeersintensiteit op langere termijn zal zijn. Dit wordt nog eens bevestigd doordat in diverse Europese landen door de toegenomen verkeersintensiteit veel bruggen niet meer voldoen.⁷

Afgezien van de genoemde overwegingen geven de geïnterviewde bedrijven aan dat ze een technische levensduur van 50-80 jaar wel voorstelbaar achten. Daarbij geven ze wel direct aan dat levensduur onlosmakelijk gekoppeld is aan de materialisering en detaillering. Deze twee onderwerpen worden in de volgende paragrafen besproken.

3.2. Materialisering

Uit de interviews blijkt dat de bouw van houten verkeersbruggen veelal verband houdt met verschillende typen hout (inclusief verlijmd en veredeld hout). De volgende typen hout worden besproken: gelamineerd naaldhout, gelamineerd Accoya, gelamineerd tropisch hardhout (met name Iroko), verdeuveld tropisch hardhout, massief tropisch hardhout en Nederlands hout. Veelal zijn de

⁶ Zie: <https://www.shr.nl/case-studies/houten-brug-bij-sneek-voor-de-zwaarste-verkeersklasse>.

⁷ Naast Nederland speelt dat tenminste ook in Duitsland.

bedrijven gespecialiseerd in een of twee typen (met de bijbehorende specifieke toepassing). In de volgende paragrafen komen de verschillende typen aan de orde.

3.2.1 Gelamineerd hout

Het lamineren van hout voor (verkeers)bruggen wordt in de praktijk gedaan met naaldhout, chemisch gemodificeerd hout (Accoya) en tropisch hardhout. Wanneer naaldhout in verkeersbruggen wordt gebruikt, is lamineren noodzakelijk om de benodigde afmetingen voor grote overspanningen te kunnen produceren. Met het lamineren van hout is al vele jaren ervaring. Langjarige Nederlandse praktijkervaringen met gelamineerd hout in weer-en-wind-toepassingen (NEN-EN 335: UC3) zijn een belangrijke indicatie voor de te verwachten prestaties van gelamineerd hout in brugconstructies.

Het voordeel van gelamineerd hout is dat het altijd kunstmatig wordt gedroogd om het lijmp proces mogelijk te maken.⁸ Daardoor zal het hout in zijn toepassing minder krimpen en dat kan als een voordeel van gelamineerd hout beschouwd worden.

3.2.1.1 Gelamineerd naaldhout

De relatief recente ontwikkeling van CLT (Cross Laminated Timber) heeft het toepassen van gelamineerd naaldhout in een stroomversnelling gebracht. Dit is ook toepasbaar in brugconstructies. De referenties in hoofdstuk 4 blijken in verreweg de meeste gevallen in gelamineerd naaldhout (met verduurzaming) te zijn uitgevoerd.

Gelamineerd naaldhout is in Nederland toegepast in fiets/voetgangersbruggen. Een mooi voorbeeld is de lange fietsbrug over de IJssel bij IJsselstein (Meerlobrug). De gelamineerd naaldhouten draagconstructie is onder het brugdek geplaatst, waardoor het relatief beschermt is tegen direct weersinvloeden en wat de levensduur ten goede komt.⁹

⁸ Een uitzondering is GluGreen: een techniek waarmee niet-gedroogd tropisch hardhout gevingerlast en gelamineerd kan worden voor constructieve toepassingen. Onderscheidend is de hoge sterkte van de lijmverbinding die bij tropisch hardhout tot zijn recht komt. Het procedé is ontwikkeld (en gepatenteerd) door TNO en een consortium van bedrijven. Er zijn inmiddels substantiële hoeveelheden gevingerlast hout op de markt gebracht; het lamineren van niet-gedroogd tropisch hout met hoge sterkte lijkt potentieel goed mogelijk, maar vereist nog verdere ontwikkeling. Meer informatie: www.glugreen.com.

⁹ Marein Kolkmeijer, "Brug en havengebouw/restaurant Marnemoende IJsselstein," *Het Houtblad* 34 (Januari 2007): 34-39, <http://docplayer.nl/16548975-Januari-2007-het-houtblad-foto-s-www-johnlewismarshall-com-brug-en-havengebouw-restaurant-marnemoende-ijsselstein-over-de-hollandse-ijssel.html>.



Figuur 2: De Meerlobrug (2006) bij IJsselstein (NL) met gelamineerd naaldhouten constructie onder het brugdek. De totale lengte is 117 meter. Foto: F. Miebach/IB-Miebach.

Naaldhout heeft van zichzelf een beperkte schimmelresistentie (duurzaamheid). Zeker in het Nederlandse klimaat is dat een essentieel punt van aandacht. Daarom wordt relatief vaak gebruik gemaakt van een behandeling van vurenhout om de resistentie te verhogen. Er worden twee soorten houtbehandeling te onderscheiden: houtverduurzaming en houtmodificatie. In het eerste geval wordt hout geïmpregneerd met een verduurzamingsmiddel wat de schimmelaantasting tegen gaat. De werkzame stof is veelal een biocide (een toxische stof). Houtmodificatie is de veredeling van hout waarbij de behandeling chemisch gezien de houtstructuur blijvend verandert. Deze behandeling is in veel gevallen door-en-door en bovendien hoeft er geen gebruik gemaakt te worden van biocides. Twee varianten worden in de praktijk toegepast: thermische modificatie (middels temperaturen tussen 170 en 220 °C en chemische modificatie (het impregneren van een reactieve stof die de modificatie tot stand brengt).

Traditionele houtverduurzaming met metalen, hoe effectief ook voor de levensduurverlenging, heeft echter minder toekomst vanuit toenemende duurzaamheids- en milieueisen. Volgens één geïnterviewde is de trend momenteel om af te stappen van de traditionele houtverduurzaming. Als deze trend zichtbaar wordt, zal dat een impuls kunnen betekenen voor (chemisch) gemodificeerd naaldhout, duurzame naaldhoutsoorten (Lariks en Douglas) en tropisch hardhout. Anderzijds worden er ook nieuwe houtverduurzamingsmiddelen ontwikkeld die rekening houden met de strengere duurzaamheids- en milieueisen.

3.2.1.2 Gelamineerd Accoya

Accoya is de merknaam voor chemisch gemodificeerd hout. Op dit moment betreft dit hoofdzakelijk de naaldhoutsoort Radiata pine (*Pinus radiata*). Deze door-en-door behandeling leidt ertoe dat het Radiata pine zich in veel opzichten als tropisch hout gedraagt. In krimp- en zwelgedrag is bijvoorbeeld een reductie van circa 70% bereikt. Omdat de basis naaldhout is, blijft de verbetering in buigsterkte beperkt. Qua elasticiteitsmodulus is het verschil met tropisch hout kleiner.¹⁰ Accsys geeft 50 jaar garantie op hout zonder grondcontact toepassingen en 25 jaar op hout dat in grondcontact wordt toegepast.

Gelamineerd Accoya is toegepast in twee kunstzinnig vormgegeven verkeersbruggen met verkeersklasse 60 bij Sneek over de A7 (2008 en 2010).¹¹ Het wegdek bestaat uit een naaldhout dek dat is afgewerkt met asfalt. Er zijn balken gelamineerd met een kopmaat van 1.080x1.400 mm². Voor zover bekend zijn deze Accoya-bruggen de eerste zware verkeersbruggen van hout in Nederland. De brug wordt door RWS gemonitord en de opgedane kennis komt nieuwe ontwerpen ten goede.

De verkeersbruggen in Sneek waren aanvankelijk afgewerkt met een houtbeits om de lijmnaden te beschermen tegen vochtindringing. De last van frequent onderhoud (met name de liggende delen) is voor publieke opdrachtgevers echter niet makkelijk op te brengen, zoals ook in Sneek is gebleken. Dat is een belangrijk punt om rekening mee te houden. Verder leidt de open structuur van Accoya-hout tot een relatief snelle en hoge wateropname. Het eigen gewicht van de brug kan daardoor aanzienlijk toenemen. Tot slot kan de combinatie van stalen verbindingsmiddelen kritisch zijn vanwege de corrosieve werking van het lichtzure Accoya.¹²

3.2.1.3 Gelamineerd tropisch hout

Lamineren van tropisch hout wordt vooral gedaan om zware afmetingen te produceren. Daarmee zijn in Nederland verschillende langjarige ervaringen bekend. Zo presteren bijvoorbeeld de gelamineerde Iroko kolommen in Wageningen al bijna 25 jaar in een weer-en-wind toepassing (zie de figuren 3-4).

¹⁰ Voor meer informatie over Accoya: www.accoya.com.

¹¹ Voor meer informatie over deze bruggen zie: Hoegina de Boer, "Accoya verkeersbrug Sneek. Over een wereldwonder," *Het Houtblad* (februari 2009): 30-35, <http://docplayer.nl/29315128-Over-een-wereldwonder.html>.

¹² Een bijproduct van de chemische reactie in het acetylerproces is Azijnzuur.



Figuur 3-4: Gelamineerd Iroko toegepast sinds 1996 (foto's: 2010). Foto's: De Groot Vroomshoop.

Gelamineerd Iroko is sinds 2013 ook succesvol toegepast in de fietsbrug "Hofstraat" in Landgraaf, Limburg (zie figuur 5).¹³



Figuur 5: Gelamineerd Iroko fietsbrug bij Landgraaf. Foto: Henk Snaterse/ipv Delft.

3.2.2 Nederlands hout

Omdat gelamineerd naaldhout een geschikte optie lijkt te zijn, komt de toepassing van Nederlands hout voor verkeersbruggen ook in beeld. Volgens opgave van Staatsbosbeheer is er op jaarbasis al snel 7.500-10.000 kubieke meter Lariks rondhout beschikbaar op jaarbasis. Voor een deel zijn daar zeker toepassingen voor, maar de toepassing in houten verkeersbruggen geeft het gebruik van Nederlands hout in eigen land een substantiële impuls.

¹³ Voor meer informatie over deze brug: <https://ipvdelft.nl/portfolio-item/brug-hofstraat-landgraaf/>.

3.2.3 Verdeuveld tropisch hout

Naast het lamineren van tropisch hout middels verlijming, wordt ook tropisch hout op elkaar gestapeld en verbonden door middel van stalen pennen (deuvels) om grotere afmetingen te vormen. Vaak worden de boven en onderzijde afgewerkt met een houten of zinken dekplank. Deze manier van lamineren wordt regelmatig in Nederland toegepast, zoals bij de fiets/voetgangersbrug in Beilen (figuren 6-8). Omdat de delen zonder verlijming gestapeld zijn, zou hier op lange termijn inwatering tussen de planken een rol kunnen spelen. De naden tussen de planken zijn als capillairen te beschouwen die water kunnen aantrekken, dat slechts relatief langzaam afgestaan wordt. In de recent bezochte brug in Beilen (15 jaar oud) was oppervlakkig gezien geen spoor van aantasting te vinden in de Azobé boog. Hierin speelt mee dat de naden in het verticale vlak gepositioneerd zijn.



Figuren 6-8: De Stroomboog (2004) in Beilen met gestapelde boog en stalen pennen, afgewerkt met een houten lijst.

Houtsoort: Azobé. Foto's: Innovita.

Verdeuvelen kan ook met houten deuvels, genaamd Cross Screwed Timber (CST). Kruislings liggende panelen worden door schroeven van beukenhout aan elkaar bevestigd. Het is niet bekend of dit al toepasbaar is voor houtsoorten die meer in de GWW worden gebruikt.¹⁴

3.2.4 Massief tropisch hout

Nederland is een van de grotere gebruikers van tropisch hardhout in Europa. In veel toepassingen komen de technische kwaliteiten van tropisch hout goed tot hun recht, terwijl ook vaak vanwege esthetische redenen voor deze productgroep gekozen wordt.

Massief tropisch hout is een geschikt materiaal om bruggen mee te bouwen. Er is veel ervaring mee in Nederland in fiets/voetgangersbruggen: bruggen tot een paar honderd meter overspanning zijn niet ongebruikelijk (zie figuur 12). In de categorie verkeersbruggen zijn er verschillende korte verkeersbruggen van hout gemaakt, zoals klasse 30 bruggen die toegang geven tot het erf van een woonhuis. Daarnaast zijn er in woonwijken houten verkeersbruggen geplaatst waar met een lage frequentie autoverkeer tot 30 ton kan passeren (zie figuur 9).

Uit de interviews blijkt dat bedrijven als Hupkes hout in Dieren, Groot Lemmer in Heerenveen en Wijma Kampen regelmatig hardhouten verkeersbruggen klasse 30 / 45 tot 12 meter overspanning hebben geproduceerd, veelal ook voor andere Europese landen. Helaas zijn de gegevens en locaties van deze bruggen niet op korte termijn beschikbaar. Voor een voorbeeld van dergelijke bruggen [klik hier](#).

3.3. Afwerking

In sommige gevallen worden houten verkeersbruggen afgewerkt. Verschillende bruggenbouwers geven daarbij aan dat dit vooral een esthetische functie heeft, namelijk om vergrijzing van onbehandeld hout te voorkomen. In het geval van de Accoya verkeersbruggen in Sneek is de afwerking ook bedoeld om de waterbelasting op de lijmnaden te beperken. Het grote nadeel van een afwerking is dat onderhoud relatief kostbaar kan zijn vanwege de toegankelijkheid. Daarbij geldt dat liggende delen relatief vaak onderhoud nodig hebben.

Als er voor afwerking gekozen wordt, kan ervoor houtbeitsen gekozen worden zoals bij de Accoya-bruggen in Sneek. Een (kleurloze) nano-coating zorgt ook voor reductie van wateropname en

¹⁴ Voor meer informatie: <https://www.orga-architect.nl/nieuws/longread-x-7-emissievrij-bouwen/>.

aanhechting van vuil, maar houdt niet altijd de vergrijzing tegen.¹⁵ Filmvormende afwerkingen beschermen meestal langduriger dan semi-filmvormende systemen, maar zijn gevoeliger voor scheurvorming in het verfsysteem en zijn arbeidsintensiever in het onderhoud.

Het verbeteren van de milieuprestaties van afwerkssystemen voor hout is een ontwikkeling die de verfindustrie opgepakt heeft. Als gevolg daarvan kopen verffabrikanten in toenemende mate hun grondstoffen biobased in.

3.4. Detaillering

Voor alle geïnterviewde bouwbedrijven spelen de details van de brug een cruciale rol. Samen met de materialisering zijn dat de meest bepalende factoren voor de levensduur en de prestaties van houten verkeersbruggen.

Uit de interviews en de referenties in hoofdstuk 4 blijken er grofweg twee manieren om hout in verkeersbruggen toe te passen. Sommige bouwers hebben sterke voorkeur voor het (gedeeltelijk) beschermen van de hoofddraagconstructie tegen directe weersinvloeden. In de referenties van hoofdstuk 4 zijn hier veel voorbeelden van te vinden. Deze bescherming kan beperkt blijven tot de horizontale vlakken (zie de brug op de voorzijde van dit rapport) of helemaal rondom de draagconstructie. Deze bescherming kan bereikt worden met dekplanken en bekleding van hout of zink. In diverse referenties komen ook bruggen voor waarbij de draagconstructie onder het brugdek is toegepast.

Een tweede groep bedrijven past de houten draagconstructie toe waarbij volledige blootstelling aan het weer plaatsvindt. In dat geval is er sprake van verduurzaamd naaldhout, gemodificeerd naaldhout of tropisch hardhout. De bruggen in Sneek zijn daar een voorbeeld van. Ook (vakwerk)bruggen in tropisch hout worden vaak onbeschermd toegepast. Overigens bestaat er verschil van mening over de levensduur van dergelijke onbeschermd constructies en de bouwers die voor een beschermde hoofddraagconstructie pleiten, denken dat zonder bescherming een levensduur van 80 jaar niet haalbaar is.

Om de levensduur van houtconstructies in de GWW-sector te vergroten heeft RWS in samenwerking met diverse marktpartijen gewerkt aan voorstellen voor betere details in typische

¹⁵ Zie bijvoorbeeld <https://www.bionicttechnology.nl/> en <https://fumano.nl/nl/fumano-pro-wood> voor voorbeelden.

(hard)houten GWW-toepassingen.¹⁶ In 2020 is een werkgroep van start gegaan om onder auspiciën van CROW tot een herziening van deze CUR-publicatie te komen. In 2004 verscheen een publicatie waarin de aansluitdetails in typische waterwerken is beoordeeld en zijn voorstellen gedaan om tot een langere levensduur te komen. Deze inzichten kunnen ook waardevol zijn in ontwerpprocessen ten behoeve van houten verkeersbruggen.¹⁷

Een optimale detaillering is niet alleen van belang voor de bescherming van de draagconstructie, maar ook bij toepassing van gelamineerd (naald)hout in Nederland. De levensduur van gelamineerd hout wordt negatief beïnvloed als er onder bepaalde omstandigheden teveel water wordt opgenomen (bijvoorbeeld in liggende delen).

3.5. Houten brugdekdelen

Naast de reeds besproken toepassing van hout in brugconstructies, wordt hout in Nederland ook gebruikt in de dekken van verkeersbruggen.¹⁸ De reeds genoemde Accoya bruggen in Sneek zijn samengesteld uit een vuren houten brugdek, afgewerkt met een hechtlaag en asfalt. Daarnaast zijn sommige oudere bruggen in Nederland voorzien van een Azobé brugdek. De delen worden tegen elkaar aan gelegd en vervolgens afgewerkt met een hechtlaag (primer). Daarna volgt de asfalt laag. In 2015 zijn 200 van de 800 brugdekdelen in de Van Brienoordbrug vervangen. De reden was dat deze delen na circa 40 jaar sporen van aantasting vertoonden. Daarmee hadden de delen beter gepresteerd dan vooraf verwacht. Bij het uitvoeren van de renovatie kon de aannemer goed zien dat de baan voor het vrachtverkeer het meeste te lijden had van slijtage.¹⁹

Naast de Van Brienoordbrug zijn er meer bruggen met hardhouten dekdelen. De bewegende delen van verkeersbruggen werden in het verleden regelmatig in hardhout uitgevoerd. Om het gewicht van het val (het bewegende brugdek) te beperken wordt tegenwoordig vaker voor staal gekozen. Met name het contragewicht kan daardoor lichter uitgevoerd worden.

¹⁶ CUR, *Hout in de GWW-sector. "Duurzaam detailleren in hout,"* CUR-rapport 213, oktober 2003, Stichting CUR Gouda.

¹⁷ Jan Banga, *Nieuwe houtsoorten voor de waterbouw. Werkboek Constructiedetails en duurzaamheid*, Drachten: Ingenieursbureau Boorsma, 2004.

¹⁸ In het onderzoek voor dit rapport zijn recente ontwikkelingen in Nederland met betrekking tot het gebruik van hout-beton brugdekken niet meer meegenomen. Zie bijvoorbeeld: <https://ipvdelft.nl/portfolio-item/sbir-circulair-viaduct-hout/>.

¹⁹ Mondelinge mededeling van Volker Engineering Structures te Vianen.

3.6. Opschaling naar verkeersbrug

In Nederland is veel ervaring met houten bruggen. Relatief grote fietsbruggen komen regelmatig voor (zoals de figuren 2 en 12). Daarnaast zijn er voorbeelden van kleinere houten bruggen waar autoverkeer met een lage frequentie passeert. In de interviews is daarom gevraagd naar de mogelijkheden voor opschaling naar grote verkeersbruggen. Volgens de bouwers zijn de principes van een zware verkeersbrug niet principieel anders dan van de grotere fietsbruggen. Zij zien dan op dat punt ook geen onoverkomelijk bezwaren. De maatvoering van de benodigde balken en de beschikbaarheid van grote afmetingen in tropisch hout zijn daarbij genoemde aandachtspunten.

Opschaling is vooral een combinatie van de zwaardere belasting (tot 60 ton) met een veel hogere verkeersintensiteit. Vanuit dat oogpunt zijn de referenties in hoofdstuk 4 relevant: blijkbaar kan hout dat hebben. Dit wordt ook door sommige geïnterviewden bevestigd. De Eurocode 5 voorziet in een berekening van de vermoeiing van houten constructies. Toch lijkt het zinvol om tenminste te verkennen wat de ervaringen zijn met vermoeiing van houten verkeersbruggen in andere landen.²⁰ Een belangrijk punt is dan om de te verwachten Nederlandse verkeersintensiteit te vergelijken met ervaringen in het buitenland. De uitgangspunten voor de variantenstudie gaat uit van 14.000 voertuigen per etmaal.

3.7. Aanbesteding & realisatie

Verschillende bruggenbouwers zijn kritisch over de rol van RWS als opdrachtgever, vaak gebaseerd op ervaringen vanuit het verleden. Als gevolg daarvan geven de meeste partijen aan dat ze bereid zijn om mee te werken, maar dan moet wel nadrukkelijk een houten brug (inclusief ontwerp) worden aanbesteed. Het is voor de meeste bruggenbouwers te kostbaar om zelf een ontwerp te maken en door te rekenen, waardoor er dus geen houtontwerp zal worden ingediend. Als RWS het gebruik van hout als bouw materiaal voor verkeersbruggen wil stimuleren, wordt er volgens de geïnterviewden ook duidelijke ondersteuning en stimulering vanuit RWS verwacht.

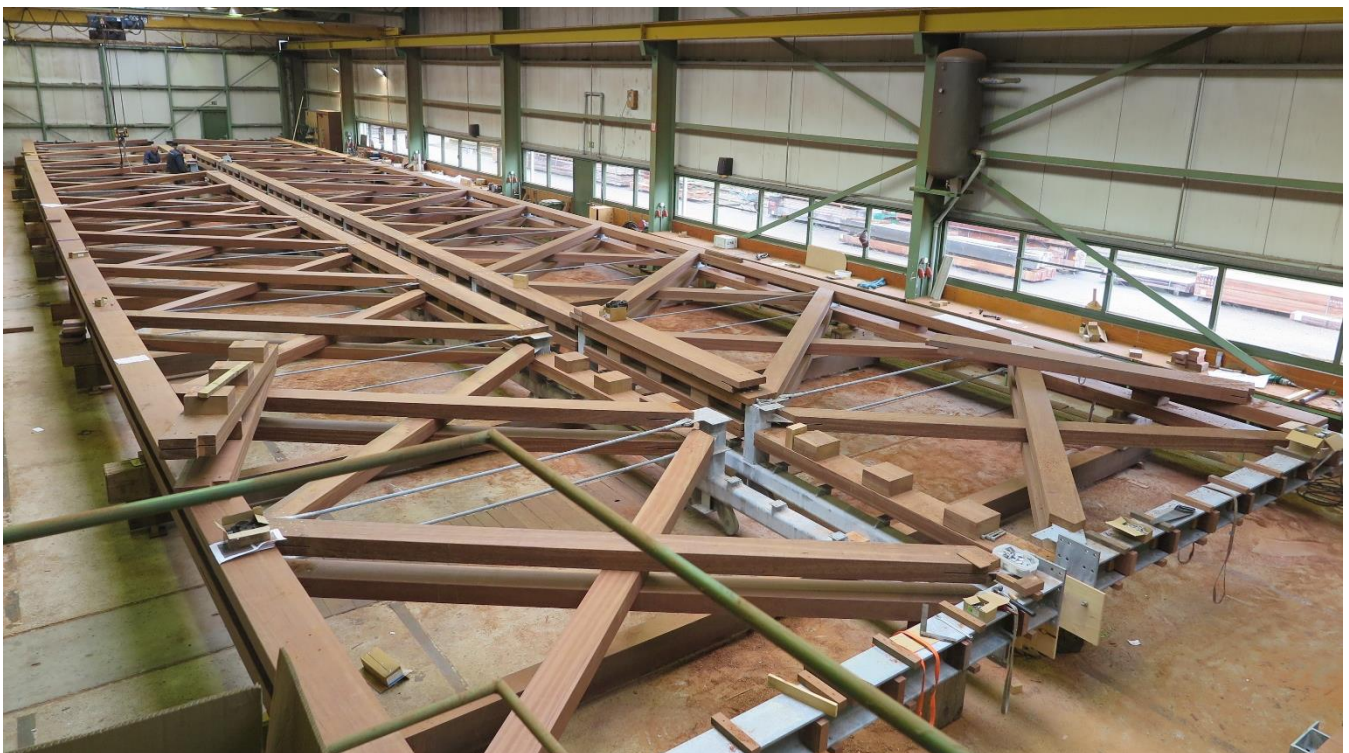
Een mooi voorbeeld is de recente aanbesteding in Groningen (2019), waar een grote voetgangers/fietsbrug is aanbesteed met als milieueis een MKI van 80 euro per meter brugdek. Mede dankzij deze eis, kon een variant in FSC tropisch hout aan de milieueisen voldoen en is een

²⁰ Er is ongetwijfeld wetenschappelijke literatuur over dit onderwerp, maar het valt buiten de scope van deze studie om daar uitgebreid aandacht aan te geven. Zie bijvoorbeeld: K.A. Malo, A. Holmestad & P.K. Larsen, "Fatigue Strength of Dowel Joints in Timber Structures," 9th World Conference on Timber Engineering 2006, paper 193. Voor de hout-beton-staal brug in Finland (Vihantasalmi bridge) zijn daadwerkelijk testen uitgevoerd op vermoeiing van de stalen pennen (deuvels): <https://www.woodarchitecture.fi/projects/vihantasalmi-bridge>.

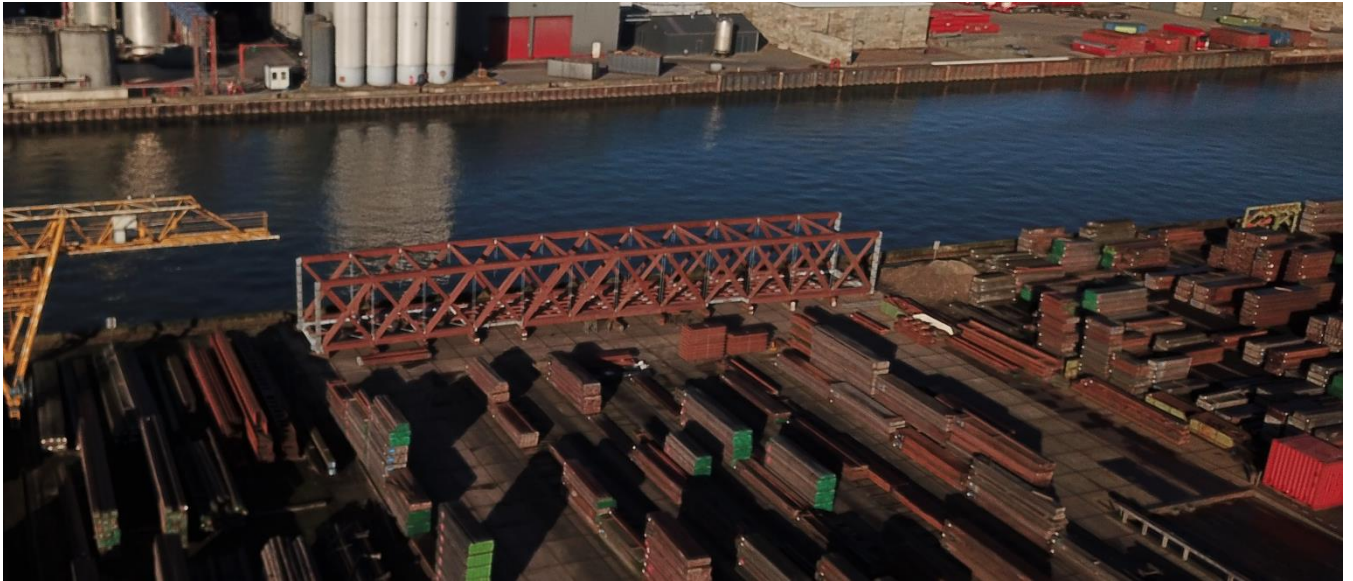
Nederlandse bouwer de opdracht gegund. Op welk niveau de MKI-eis wordt gelegd is hierbij een cruciale vraag. Positief geformuleerd kan RWS (en dus ook lagere overheden) actief bijdragen aan de vermindering van het gebruik van milieubelastende materialen en de reductie van CO₂ door een ambitieuze MKI-eis voor verkeersbruggen neer te leggen. Daarmee kan reeds bestaand inkoopinstrumentarium benut worden.

Wat betreft de realisatie geven verschillende bouwers aan dat een lengte van 25 meter nog goed te transporteren is, zonder aanvullende maatregelen. Veel brugontwerpen kunnen prima met elementen van ongeveer 25 meter uit de voeten. Een voordeel van houtbouw is dat er veel geprefabriceerd kan worden op een gecontroleerde productielocatie.

Het opdelen van bruggen in hanteerbare onderdelen blijkt ook in het buitenland gebruikt te worden zoals verschillende referenties van hoofdstuk 4 laten zien.



Figuur 10: Elementen voor een vakwerkbrug van circa 42 meter lengte en 4,5 meter hoogte voor een fiets/voetgangersbrug in Oirschot. Foto: Innovita.



Figuur 11: De brug ligt klaar voor transport op de werf van Wijma Kampen. Foto: Wijma Kampen.

4. Referenties van houten verkeersbruggen

In Nederland zijn tal van architectonisch fraaie fiets- en voetgangersbruggen bekend. Deze zijn vaak uitgevoerd in tropisch hout en in mindere mate in Accoya. Er komen bruggen voor tot enkele honderden meters lang. Mooie voorbeelden zijn de fiets- en voetgangersbrug bij Harderwijk over de A28 en de nieuwe langste fietsbrug van Nederland en Europa, *de Blauwe loper*, die van Winschoten naar Blauwestad (Groningen) gaat, met een lengte van 800 meter (figuur 12).²¹

De houten verkeersbrug met grotere overspanning blijkt in Nederland zeldzaam te zijn. Voor zover bekend gaat het om de twee bekende Accoya-bruggen bij Sneek (2008 en 2010) en de gelamineerd-naaldhout bruggen in Blauwestad bij Groningen (2012). Referenties van houten verkeersbruggen zijn belangrijk voor het vergroten van de kennis van dergelijke bruggen in Nederland. Dit hoofdstuk presenteert een selectie van houten verkeersbruggen met focus op Europa.

In de categorie tot 12 meter lengte zijn diverse verkeersklasse 30 en 45 bruggen toegepast in Nederland. Diverse geïnterviewden gaven aan dat ze regelmatig van dit soort verkeersbruggen hebben gemaakt in het verleden.²² Wat nog regelmatig voorkomt zijn de wat kleinere bruggen met een beperkte overspanning van minder dan 10 meter waarover bewoners enkele keren per dag met de auto rijden om op hun erf te komen. Ook in woonwijken zijn soms houten verkeersbruggen gebouwd (zoals in het Landal GreenParks Reeuwijkse hout).²³ Dit soort bruggen zijn echter niet te vergelijken met de categorie verkeersbrug waarnaar RWS op zoek is. Daarom zijn deze bruggen buiten beschouwing gelaten.

²¹ Meer info: <https://www.menterwolde.info/regio/oldambt-bellingwedde/ontwerp-blauwe-loper-tussen-blauwestad-en-winschoten-is-klaar/>.

²² In al deze gevallen ging het om tropisch hout als constructiemateriaal. Helaas zijn het allemaal oudere bruggen. Sommige contactpersonen zijn inmiddels werkzaam bij een andere onderneming. Soms zijn dossiers inmiddels geruimd zodat ook de locaties niet meer na te gaan zijn.

²³ Deze bruggen zijn door Haasnoot Bruggen te Katwijk gemaakt. Ontwerplevensduur was 50 jaar en oplevering vond in 2016 plaats. De bruggen zijn als een versterkte fiets/voetgangersbrug te beschouwen zodat ze geschikt zijn voor een aangepast dienstvoertuig met 3x 10 ton as-last.



Figuur 12: Impressie van de *Blauwe Loper* tussen Winschoten en Blauwe stad (Groningen). Artist impression: Nol Molenaar.

Het land met de meeste houten verkeersbruggen lijkt Noorwegen te zijn. In Noorwegen werden in de afgelopen 25 jaar 10% van de verkeersbruggen in hout uitgevoerd.²⁴ Dit wordt bevestigd door het aantal van ruim 200 dat Reyn O’Born noemt in zijn LCA studie voor de nieuw te bouwen Mjøsa brug in Noorwegen.²⁵ Ook in andere landen worden regelmatig verkeersbruggen van hout gebouwd. In Zwitserland zijn er een stuk of 280 houten bruggen die op zijn minst op belasting van auto’s zijn berekend.²⁶ Het volgende overzicht is een selectie van houten verkeersbruggen in diverse Europese landen (en Noord-Amerika).

²⁴ NVF Conference on Timber Bridges. *Proceedings and Abstracts* (Hamar, Noorwegen: 2005), 10, <http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1467>.

²⁵ Reyn O’Born, “Life Cycle Assessment of Large Scale Timber Bridges: A Case Study from the World’s Longest Timber Bridge Design in Norway”, *Transportation Research Part D* 59 (2018): 302.

²⁶ De website <http://www.swiss-timber-bridges.ch/> (categorie ‘passable’) toont bruggen waar auto’s over kunnen rijden (variërend van kleine tot grotere bruggen).

Foto	Plaats/bouwjaar	Bouwteam	Materialen kosten
------	-----------------	----------	-------------------

Nederland



Accoya bruggen Sneek²⁷, 2008, 2010.
Lengte: 32m.
Breedte: 12m. 60 ton brug.

Provincie Friesland, gemeente Sneek
Architect: Onix.
Bureau Blass.
Bouwer: Schaffitzel

3,6 miljoen euro
Accoya (ca. 300m³).
Afwerking van Remmers; staal, beton.



Hoofdstraat Blauwestad (gemeente Oldambt); 2012²⁸ (45 ton). Lengte: 40m; breedte: 4m. Totaal vijf 45 tons bruggen in Blauwestad.

Opdrachtgever: Provincie Groningen.
Architect: de Zwarte Hond, Groningen.
Bouwer: Schaffitzel in samenwerking met TIComTec (Haibach)

Gelamineerd naaldhout constructie onder het brugdek. Stalen reling met gelamineerde Accoya leuning.



Duitsland



Aggerschlösschenbrücke²⁹ Hout-beton brug over de Agger in Lohmar Schiffarth, Noord-Rijnland-Westfalen, 2014 (60 ton). Lengte: 40m; breedte: 4,75m

Ingenieur/planner: IB-Miebach.
Bouwer: Schaffitzel.

Houtbeton combinatie.
Circa 112 ton CO₂ vastgelegd.

²⁷ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/006_sneek_schaffitzel.pdf. Foto: Onix.nl.

²⁸ <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2005/11/zes-spectaculaire-houten-bruggen-voor-de-blauwe-stad-10120502>; <https://www.schaffitzel.de/holzbrueckenbau/referenzen/151-de-blauwe-stad-2>. Foto's: F. Miebach/IB-Miebach.

²⁹ <https://www.ib-miebach.de/en/projects/timber-bridges/timber-concrete-composite-bridges/timber-concrete-composite-bridge-schiffarth-de.html><https://www.schaffitzel.de/holzbrueckenbau/referenzen/215-schiffarth>. Foto: F. Miebach/IB-Miebach.



Sausender Graben,
1996.³⁰ Wallgau/
Vorderriss
Duitsland (30 ton).
Lengte 22,8m
Breedte 3,35m

Bouwer:
Planungsgesell-
schaft Dittrich.

250.000 euro
Vakwerkbrug.
Gelijmde
constructie,
brugplaat (2 x
22.8x3.35m).
Wegdek:
gietasfalt.



**Houten boogbrug
over de Agger bij
Lohmar-
Höngersberg,
2014.³¹** Lengte
65m; overspanning
45m.

Ingenieur: IB-
Miebach

Houten boog en
constructie van
glulam;



**Brücke "Sieh dich
für,"³² (1996),**
Baiersbronn,
Freudenstadt
(Kreis), Baden-
Württemberg (30
ton). Lengte
14.40m en breedte
6.20m.

Opdrachtgever:
gemeente
Baiersbronn
Architect:
Ingenieurbüro
Vetter, Baiersbronn
Structureel
ingenieur: Harrer
Ingenieure, Society
of Consulting
Engineers VBI mbH



**Houtbetonbrug
Ruhpolding³³**
(18 ton)
Lengte: 17 m
Breedte: 13,7 m

Gemeente
Ruhpolding;
Ingenieur:
Bauingenieur-
Gemeinschaft
Trauntal,
Ruhpolding;
Bouwbedrijf:
Schaffitzel.

Kosten: circa
€90.000. Vuren
gelamineerd (GL
32c).
Fundering:
beton.

³⁰ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/038_Sausender%20Graben.pdf en aanvullende informatie van Planungsgesellschaft Dittrich. Foto: Planungsgesellschaft Dittrich mbH.

³¹ <https://www.ib-miebach.de/en/projects/timber-bridges/arch-bridges-made-from-timber/long-span-timber-arch-bridge-hoengesberg-de.html>; <https://www.youtube.com/watch?v=ex2Ag0Vej6o>. Foto: I. Schmitz/IB-Miebach.

³² http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/048_Baiersbronn%20sieh%20dich%20fuer.pdf; <https://structurae.net/de/bauwerke/bruecke-sieh-dich-fuer> Foto: www.Karl-Gotsch.de.

FRANKRIJK

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Viaduct over de A89 nabij Aire du Chavanon (Aix).³⁴

Houten balkconstructie onder betonnen wegdek.



Pont de Crest,³⁵
2001 (Auvergne, Rhone-Alpes).
Lengte: 92,8m.
Max. overspanning 32,6m. Breedte 8m.

Houten constructie, wegdek en wegmeubilair (gelamineerd naaldhout).

Zwitserland



Kirchenbrücke, Muotathal,³⁶ 2009 (40 ton).
Lengte: 33,4m; breedte: 12m.

Gemeente Muotathal.
Ingenieursbureau en bouwer Pirmin Jung Schweiz AG.

Fundering: betonnen landhoofd
Wegdek: gietasfalt 85mm
Boogspant: GL28h, secundaire componenten: C24 en GL24h.

³³ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/108_HBV%20Bruecke%20Ruhpolding.pdf. Foto: Copyright Bauingenieur-Gemeinschaft Trauntal, Ruhpolding.

³⁴ Foto: www.maps.google.nl.

³⁵ Locatie: www.maps.google.nl. Informatie: <https://structurae.net/en/structures/crest-wooden-bridge>. Foto: Jacques Mossot/Structurae (<https://structurae.net/en/media/62618-wooden-bridge-crest-2001>).

³⁶ Informatie: <https://structurae.net/en/photos/210782-kirchenbrucke-muotathal>; <http://www.swiss-timber-bridges.ch/detail/171#TechDetails>. Foto: PIRMIN JUNG Schweiz AG, www.pirminjung.ch.



Wiggerbrücke³⁷, Egolzwil, 2005 (40 ton). Lengte: 20m en breedte: 3.9m.

Bouwer: Pirmin Jung Schweiz AG.

Betonfundering.
Wegdek: Asfalt 85mm
Draagconstructie: GL28h.
Secundaire componenten: C24 en GL24h
Afdekkingen van dun plaatstaal of Douglas schaaldelen.
€460.000.
Gewapend beton en staalbouw.
Draagconstructie van gelamineerd naaldhout.
Leuning: Eiken.
Houten brugdek met waterdicht membraan en asfalt.

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Horenbrücke³⁸, Küttingen, Kanton Aargau, 2008, (40 ton).
Lengte: 31m
Breedte: 6,5m

Kanton Aargau.
Bouwer: Hunziker Holzbau.
Bouwkundig ingenieur Makiol + Wiederkehr,
houtingenieur HTL / SISH.
Ontwerp: Zimmermann Architects

Bouwer: Hunziker Holzbau.
Bouwkundig ingenieur Makiol + Wiederkehr,
houtingenieur HTL / SISH.
Ontwerp: Zimmermann Architects

Oostenrijk

Radlacher Draubrücke³⁹
Langste overdekte houten brug voor zwaar verkeer in Oostenrijk.
Totale lengte: 63m
overspanning: 40m

Bouwer: Holzbau Hofer.

Volume: 230 m³ hout.

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

³⁷ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/24_Wiggerbruecke.pdf; <http://www.swiss-timber-bridges.ch/detail/131..>
Foto: PIRMIN JUNG Schweiz AG, www.pirminjung.ch.

³⁸ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/027_Horenbruecke.pdf.

³⁹ http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/40_Radlacher%20Draubruecke.pdf; <http://www.forum-holzbruecken.com/index.php?page=holzbrueckenprojekte>; Foto: Holzbau Hofer.

Noorwegen

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)



[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Ontwerp 2^e Mjøsa brug, over Mjøsa meer.⁴⁰

Snelweg met 24.000 AADT⁴¹, 110 km/u.
Spanwijdte is 69m
totale lengte 1750m. Zou de langste houten brug wereldwijd zijn.

Ontwerp met veel hout is aanbesteed. Joint venture van Besix en Rizanni de Eccher gaat de brug bouwen. Met name ontwerplevensduur van 100 jaar is kritisch punt. Bij continue gebruik verwachte levensduur van 60 jaar. Zowel verduurzaming als ontwerp (constructie onder dek) moeten levensduur mogelijk maken.

Kjøllsæter brug⁴²

Åmot, Hedmark, 2005.
Militaire verkeersbrug volgens NAVO norm, o.a. voor tankkanonnen en andere zwaar materieel.

109 ton met een max. overspanning van 30m. Lengte van 158m en breedte van 6,3m.

Bouwer: Moelven.
Architect: PLAN Arkitekter AS
Ingenieursburo: Sweco Norge AS

Betonfundering.
Wegdek: beton.
Vakwerkconstructie: GL36c gelamineerd naaldhout en stalen verbindingstukken.

Skubbergsenga brug, 2235 Matrand, Eidskog, Hedmark, 1997⁴³

Lengte 42m
Breedte 4m

Architectuur: Snøhetta AS
Bouwer: Moelven Limtre AS (bovenbouw)
Statens Vegvesen (onderbouw).

⁴⁰ O'born, "Life Cycle Assessment of Large Scale Timber Bridges," 301-312. Foto: Statens Vegvesen, 2015; [Team picked for bridge over Norway's Lake Mjøsa - Bridge Design & Engineering \(Bd & e\) \(bridgeweb.com\)](#).

⁴¹ AADT=Average Annual Daily Traffic (<https://www.wegenwiki.nl/AADT>).

⁴² http://www.forum-holzbrueckenbau.com/pdf/044_Kj%20Bruecke.pdf; https://en.wikipedia.org/wiki/Kj%C3%B8lls%C3%A6ter_Bridge. Foto: Moelven Limtre AS.

⁴³ <https://structurae.net/en/structures/skubbergsenga-bru>. Foto: www.google.no/maps/@60.0379553,12.1225372,3a,75y,33.51h,82.77t/data=!3m6!1e1!3m4!1s99cTDS1CikSFU1K1D-uYew!2e0!7i13312!8i6656.

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Evenstad brug⁴⁴,
Evenstad , Stor-
Elvdal , Hedmark ,
Noorwegen, 1996.
Een van de langste
houten bruggen ter
wereld (60 ton).
Lengte 180m: 5
elementen van
36m overspanning.

Statens Vegvesen
Ontwerp: Berdal
Strømme As
Architectuur:
Selberg
Arkitektkontor As
Yngve Aartun
(architect)
Knut Selberg
(architect)

Brugdek: hout.
Pijlers van
gewapend
beton.
Houten glulam
constructie.
Opgebouwd op
de oude stalen
brug.
€2.000.000.

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Ulnes brug⁴⁵,
Valdres (Oppland),
Road no. 261;
2003.
105 m lengte; 3
elementen van 35
meter.

Statkraft Grøner
PLAN Arkitekter AS

Geïmpregneerd en
gelamineerd hout
in de boog;
Kosten: NOK 19,5
miljoen.⁴⁶



Fjell-leet brug⁴⁷,
over E6 Highway,
north of Oslo,
2010.
Verkeersbrug voor
'private road'.
Lengte 48,6m (max
span 44,3m).
Breedte 4,1m.

Sivilarkitekt
Morten Løvseth

Houten vakwerk-
balken en brugdek
van gelamineerd
naaldhout.



**Sundbyveien
brug⁴⁸**, over E6
Highway, north of
Oslo, 2010.

Sivilarkitekt
Morten Løvseth

Houten balken en
brugdek van
gelamineerd hout.

⁴⁴ <https://structurae.net/en/structures/evenstad-bridge>. Foto: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evenstad_bru.jpg.

⁴⁵ Foto en informatie: https://en.wikipedia.org/wiki/Ulnes_Bridge; <http://www.trefokus.no/proff/artikler/a-bygge-med-tre/broer/ulnes-bro>;

⁴⁶ https://www.vegvesen.no/s/region_ost/aarsmelding/2003/hoydepunkter/hoydepunkt11.stm

⁴⁷ Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.

⁴⁸ Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013. In februari 2016 is deze brug ingestort vanwege ernstige constructiefouten. De Noorse bruggen autoriteit heeft vervolgens twaalf vergelijkbare houten bruggen laten onderzoeken.



Skogsrud brug⁴⁹
over de E6 nabij
Tangen (Hedmark),
2009. 49 m lengte
(37 m
overspanning);
breedte 7,5 m.

PLAN Arkitekter AS;
Sweco Norway;

Houten boog-
constructie en
brugdek in
gelamineerd
naaldhout.



Fretheim brug⁵⁰,
over de Flaom nabij
Flåm

PLAN Arkitekter AS;
Sweco Norway;

Houten
boogconstructie;
stress laminated
timber deck.



Steien brug,⁵¹
Highway 3 over de
Glomma Rivier,
Alvdal (Hedmark),
2014-2015.
De grootste
overspanning van
Noorwegen met
88,2m en een
breedte: 20m.

PLAN Arkitekter AS;
Sweco Norway;

Houten
boogconstructie.
Circa 4.000
voertuigen per dag.
Ontwerplevens-
duur 100 jaar.



**Moumbekken
brug**⁵², Highway
111 nabij
Frederikstad, 2014.
25,4 meter lengte
(max. overspanning
7,3 meter). Breedte
9 meter.

Sweco Norway

Houten vakwerk-
constructie en
brugdek van
gelamineerd
naaldhout.

Er is gebleken dat deze bruggen niet die ernstige constructiefouten hadden.

<http://www.treindustrien.no/aktuelt/liimtrebroer-er-trygge>.

⁴⁹ Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.

⁵⁰ Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.

⁵¹ Sweco, *Timber Bridges*, 2013; <https://www.opplevalvdal.no/attraksjoner/steien-bru>; J. Veie, T.A. Stensby and M.A. Bjertnaes, "New dimensions in bridge construction in Norway," Internationale Holzbau-Forum IHF 2015, 3-8, http://www.forum-holzbau.com/pdf/65_IHF_2015_Bjertnaes.pdf. Foto: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.

⁵² Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.



Norsenga brug,⁵³ Highway E16 over spoor (2016?). “Full traffic load”. Lengte: 94,5m met overspanning van 54,3m en een van breedte: 12,5m.

PLAN Arkitekter AS; Sweco Norway;

Houten vakwerkconstructie en glulam stress-laminated deck.

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Daleråsen brug,⁵⁴ over de E134, 2000. Deze brug was aanvankelijk in beton gedacht maar in hout uitgevoerd tegen ongeveer gelijke kosten.

Stampen brug,⁵⁵ over de Brumunddal rivier bij Brumunddal (2008).

Setre brug⁵⁶, over de E6 nabij Eidsvoll (2011).

Harpviken brug, over de E6, Brumunddal, 2019.⁵⁷

Bouwer: Moelven Limtre AS.



[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

⁵³ Sweco, *Timber Bridges*, 2013; Veie, et al, “New dimensions in bridge construction in Norway,” 8-11. Foto: <https://nordicsteel.no/prosjekter/norsenga-bru/>.

⁵⁴ Sweco, *Timber Bridges*, 2013; <http://www.trefokus.no/proff/artikler/a-bygge-med-tre/bruer/dalerasen-bro>. Foto: <https://docplayer.me/47814289-Statens-vegvesens-rapporter.html>.

⁵⁵ Sweco, *Timber Bridges*, 2013. Foto: https://www.mjosbyen.no/media_category/brumunddal/.

⁵⁶ Foto en informatie: Sweco, *Timber Bridges*, 2013.

⁵⁷ Sweco, *Timber Bridges*, 2013. Foto: Moelven Limtre AS.



Trekvarten brug,
over de E6,
Brumunddal,
2019.⁵⁸

Bouwer: Moelven
Limtre AS.

Zweden



De grootste houten
brug van Zweden
bij
Gislavedsbron.⁵⁹
De brug is
onderdeel van
Highway 27.

Bouwer: Moelven
Töreboda AB.

Boogconstructie
van
gelamineerd
naaldhout.
Geschatte
levensduur van
80 jaar.

Finland



**Composite
Structure Bridge,
Vihantasalmi**
(1999).⁶⁰ Een van
de langste houten
verkeersbruggen
op snelwegen
(snelweg no. 5).
Lengte: 182 meter
(168 meter
overspanning).
Breedte 14 meter.

Gelamineerd
hout + beton
combinatie.

Verenigde Staten

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

**Rapid City, South
Dakota**⁶¹, 1968
(40 ton). Lengte
47,2m.

Ontwerpers: Clyde
Jundt en Kenneth
C. Wilson.

Gelamineerd
naaldhout in
draagconstruc-
tie.

⁵⁸ Sweco, *Timber Bridges*, 2013. Foto: Moelven Limtre AS.

⁵⁹ Informatie: <https://www.swedishwood.com/wood-magazine/2013-4/bridges-in-wood-for-heavy-traffic-gain-new-ground/>. Foto: Sören Håkanlind.

⁶⁰ Informatie: <https://www.woodarchitecture.fi/projects/vihantasalmi-bridge>. Foto: Versowood Oy (<https://www.versowood.fi/en/products/earth-construction-and-roadbuilding/wooden-bridges>).

⁶¹ <https://www.google.com/maps/@43.9246121,-103.4424544,3a,90y,332.58h,93.79t/data=!3m6!1e1!3m4!1sro8pZgNDD1dzh5zHhMjFCw!2e0!7i13312!8i6656>; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keystone_Wye_Bridges.jpg.



Hopland Casino brug - Hopland, California⁶²
(10 ton, niet-frequent gebruik).
Lengte 54,9m

Duurzaamheid design (rekening gehouden met weersinvloeden etc.)



Overpeck Park Entrance Bridges,⁶³
Teaneck, New Jersey, 2012.

Bruggenbouwer: Western Wood Structures, Tualatin, Oregon.

Boogconstructie van hout. Waarschijnlijk het brugdek ook.



Highway bridges⁶⁴
24-36 m overspanning

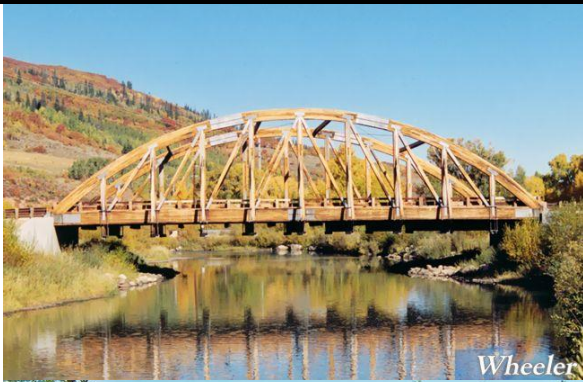
Bruggen ontworpen en geleverd door Wheeler, VS.

Gelamineerd naaldhout.

⁶² http://support.sbcindustry.com/archive/2006/aug/paper_092.pdf?phpsess. Foto: Western Wood Structures inc.

⁶³ Foto: <https://www.maserconsulting.com/projects/overpeck-park-bridges-2/>. Foto: Western Wood Structures inc.

⁶⁴ <http://www.wheeler-con.com/highway-bridges/long-span-timber-bridges/>. Foto's: Wheeler.



Canada

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Duchesnay Creek brug, Noord-Ontario, over Highway 17B, realisatie 2020.⁶⁵ Ter vervanging van houten brug uit 1937. (40/60 ton) Lengte 93m en breedte 12m.

Ontwerper: Lea Consulting Limited, Stantec

[Klik hier voor een afbeelding van deze brug.](#)

Mistissini Glulam-brug, Mistissini, Quebec, Canada.⁶⁶ Lengte 160m. Een van de grootste gelijkde gelamineerde houten bruggen van Canada. Winnaar van 3 onderscheidingen.

Ontwerp: Stantec Experts-Conseils Itée
Bouwer: Constructies BSL Inc; Chantier Chibougamau.

Gelamineerde naaldhouten draagconstructie.
Milieuprestatie: 1.472 ton CO₂ besparing met de houtvariant vergeleken met beton/staal alternatief.⁶⁷

⁶⁵ Zie: <https://canada.constructconnect.com/dcn/news/projects/2019/05/duchesnay-creek-bridge-replacement-utilize-timber-construction>.

⁶⁶ Zie: <https://caen.graitec.com/project/pont-en-bois/>; <https://www.roadsbridges.com/no-6-mistissini-glulam-bridge>.

⁶⁷ Zie: http://www.forum-holzbau.com/pdf/62_IHF_2014_Lefebvre.pdf.

Klik hier voor een afbeelding van deze brug.

**Originele
Duchesnay Creek
brug⁶⁸** (Ontario),
1937.
Gesloten in 2018
en in november
2019 gesloopt.
Overspanning: 33m
Lengte: 78m.
Breedte: 7,8m.

⁶⁸ Foto: <https://canada.constructconnect.com/app/uploads/2019/05/2019-05-roadbuilding.pdf>.

5. Een overzicht van bruggenbouwers

Tabel 1 geeft een overzicht van relevante bouwbedrijven die in staat zijn om houten verkeersbruggen te realiseren. Dit overzicht is niet compleet, maar betreft bedrijven die genoemd werden in de interviews of die via zoekopdrachten op internet gevonden zijn of die betrokken waren bij de referenties van hoofdstuk 4. Naast de genoemde bouwbedrijven in tabel 1 zijn ook ingenieursbureaus en architecten relevant. Te denken valt aan bedrijven zoals Arcadis, Sweco, Ingenieursburo Miebach, IPV Delft, Movares en Plan Architecter die in dit onderzoek regelmatig naar voren zijn gekomen.

Tabel 1: Overzicht van bedrijven die houten verkeersbruggen bouwen.

Bedrijf	Vestigingsplaats	Website
Damsteegt	Meerkerk	www.damsteegtwaterwerken.nl
De Groot Vroomshoop	Vroomshoop	www.degrootvroomshoop.nl
Derix	Diverse locaties in Europa	www.derix.de/nl
Groot Lemmer	Heerenveen	www.grootlemmerbruggen.com
Haasnoot Bruggen	Katwijk	www.haasnootbruggen.nl
Heko Spanten	Ede	www.hekospanten.nl
Hess Timber	Winterswijk	www.hess-timber.com
Holzbau Hofer	Nikolsdorf (A)	www.holzbau-hofer.at
Hüttemann	Olsberg/Wismar (D)	www.huettetmann-holz.de
Meerdink Bruggen	Winterswijk	www.meerdinkbruggen.de
Moelven	Scandinavian company	www.moelven.com
Planungsgesellschaft Dittrich	München (D)	www.dittrich-pg.de
Pirmin Jung Schweiz AG	Duitsland/Zwitserland	www.pirminjung.ch
Schaffitzel	Schwäbisch Hall (D)	www.schaffitzel.de
Schmees & Lühn	Fresenburg (D)	www.schmees-luehn.nl
Western Wood Structures	Tualatin, OR (VS)	www.westernwoodstructures.com
Wheeler	Diverse locaties in VS	www.wheeler-con.com
Wijma Kampen	Kampen	www.wijma.com

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de geïnterviewde bedrijven.

Tabel 2: Overzicht van de geïnterviewde bedrijven.

Bedrijf	Vestigingsplaats
De Groot Vroomshoop	Vroomshoop
Groot Lemmer	Heerenveen
Haasnoot Bruggen	Katwijk
Heko Spanten	Ede
Staatsbosbeheer	Amersfoort
Volker Engineering Structures	Vianen
Wijma Kampen	Kampen

6. Bouwbaarheid van houten verkeersbruggen

De resultaten uit de interviews en de 41 referenties van houten verkeersbruggen worden in dit hoofdstuk geanalyseerd. Uit de interviews en referenties blijken houten verkeersbruggen in Nederland heel beperkt voor te komen. Andere ons omringende Europese landen passen veel vaker hout in verkeersbruggen toe. De referentielijst laat ook zien dat veruit de meeste bruggen in gelamineerd naaldhout zijn uitgevoerd. In veel gevallen blijkt het om verduurzaamd naaldhout te gaan. Het gebruik van Accoya-hout in de verkeersbruggen in Sneek is een wereldprimeur.

Het feit dat er 41 referenties van houten verkeersbruggen zijn gevonden in dit onderzoek bewijst dat hout een realistisch bouw materiaal voor verkeersbruggen (inclusief de zwaarste klasse. De 41 bruggen zijn door uiteenlopende bouwconsortia gerealiseerd. Er zijn daarmee aantoonbaar diverse spelers actief. De lijst met bruggen laat bovendien zien dat het schetsontwerp voor een houten brug in de variantenstudie realiseerbaar is. De overspanning van 50 meter is relatief klein vergeleken met veel bruggen uit de referentielijst. Daarnaast komt het aantal verwachte verkeersbewegingen van 14.000 per etmaal nog niet in de buurt van de 24.000 te verwachten verkeersbewegingen bij het ontwerp van de tweede Mjøsa Bridge in Noorwegen.

Wat betreft de haalbaarheid van de ontwerplevensduur is het voorbeeld van de Duchesnay Creek Bridge in Ontario (Canada) belangrijk (zie hoofdstuk 4). Na 83 jaar is de houten verkeersbrug uit 1937 eind 2019 gesloopt. Een levensduur van 80 jaar is dus realiseerbaar in de praktijk. De klimatologische omstandigheden in Ontario zijn vermoedelijk wel gunstiger voor houttoepassingen vergeleken met die in Nederland. Anderzijds zijn er sinds 1937 veel nieuwe inzichten in detaillering geweest. Daarmee vormt deze referentie een belangrijke ondersteuning voor de levensduur van houten verkeersbruggen.

Drie aspecten zijn uit deze studie naar voren gekomen die ook van belang zijn bij het bouwen van houten verkeersbruggen in Nederland, te weten: Materialisering & Detaillering, Aanbesteding & Realisatie en Beheer & Onderhoud.

6.1 Materialisering & Detaillering

De verschillende typen hout voor verkeersbruggen laten een mooi spectrum zien: gelamineerd naaldhout, gelamineerd Accoya, gelamineerd tropisch loofhout, gedeuveld tropisch loofhout en massief tropisch loofhout. Elk van deze materialen kan succesvol toegepast worden in verkeersbruggen, maar tegelijk kent elk materiaal zijn randvoorwaarden. Omdat het Nederlandse

klimaat voor houttoepassingen relatief ongunstig (met een hoge gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in combinatie met milde temperaturen), vereist de schimmelresistentie veel aandacht in een brugontwerp. Gezien de beschikbaarheid van naaldhout in landen waar veel houten bruggen zijn toegepast, is het logisch dat daar ook veel naaldhout wordt toegepast (inclusief een passende houtverduurzaming). De verkeersbruggen in Blauwestad zijn aan de buitenzijde bekleed met Lariks, een houtsoort die een hogere schimmelresistentie heeft dan vuren of grenen. Dit zijn belangrijke aspecten om mee te nemen in een brugontwerp.

Gezien de zwaardere omstandigheden in Nederland lijkt het ook verstandig om de draagconstructie van gelamineerd naaldhout zoveel mogelijk te beschermen. De voorbeelden in hoofdstuk 4 laten daarin diverse varianten zien. Overigens doen ook Nederlandse bouwbedrijven dat met tropisch houten bogen in fiets/voetgangersbruggen, waarbij de horizontale vlakken afgeschermd worden met een dekplank. Deze dekplank dient dan tussentijds vervangen te worden, terwijl de draagconstructie beschermd blijft.

Het gebruik van thermische modificatie is niet voor de hand liggend omdat het hout daardoor een fors deel van de sterkte verliest. Ook is onvoldoende bekend of de (gereduceerde) mechanische eigenschappen stabiel blijven in de loop van de jaren. Een milieutechnisch verantwoorde effectieve houtverduurzaming om de schimmelresistentie te vergroten zou eventueel toegepast kunnen worden als alternatief voor chemische modificatie.

Het voordeel van tropisch hout is dat inherent al een hoge schimmelresistentie present is die in de praktijk veelal beter werkt dan houtverduurzaming. Daarmee is het ontwerp iets minder gevoelig voor eventuele ontwerpfouten en is er meer reserve voor calamiteiten. Dat voordeel kan belangrijk zijn in het kader van het veranderende klimaat waarmee (langer durende) wateroverlast bepaald niet denkbeeldig is. In dergelijke situaties zijn tropisch houten bruggen aanzienlijk in het voordeel. Vanwege de hogere sterkte kan met tropisch hout ook minder zwaar gebouwd worden. Sommige geïnterviewden gaven aan dat de bruggen in Sneek in Azobé aanzienlijk slanker (minder materiaal) en goedkoper hadden uitgevoerd kunnen worden.

De meest voorkomende onderdelen in houten bruggen zijn de constructieve balken (zoals in de boog of de vakwerkconstructie). Het blijkt uit de interviews en de referenties dat ook regelmatig een houten brugdek wordt toegepast. In het geval van naaldhout wordt het dek waterdicht gecoat en daarna geasfalteerd. In het geval van tropisch hout lijkt er geen waterdichte laag toegepast te worden, maar wordt er alleen een hechtprimer gebruikt om de hechting van het asfalt te versterken. Desondanks blijkt uit de ervaringen bij de Van Brienoordbrug dat Azobé brugdekdelen een goede

prestatie leverden van circa 40 jaar. Het is het onderzoeken waard of de waterdichte membraan bij naaldhout brugdekken ook toepasbaar (en levensduur verlengend) kan zijn bij hardhouten brugdekken (zie figuur 13).

De trend lijkt momenteel te zijn dat er meer staal wordt gebruikt in de bewegende onderdelen van bruggen om zo het contragewicht voor het bewegende brugdek te reduceren. Het is in dit specifieke geval zinvol om af te wegen of vanuit het milieuperspectief een houten brugdek met hoger contragewicht voordeliger is dan een stalen wegdek.

Op basis van deze analyse lijkt het voor Nederlandse verkeersbruggen in naaldhout verstandig om altijd voor een afscherming van de draagconstructie te kiezen: het moet in dat geval haalbaar zijn om een lange ontwerplevensduur te bereiken. In het geval van tropisch hout kan volstaan worden met het afschermen van de horizontale delen van de constructie met een afdekplank. Omdat het gebruik van tropisch hout nog relatief weinig voorkomt in houten verkeersbruggen, biedt dat Nederland de kans om hierin te specialiseren. Met diverse grote importeurs en goede contacten met gecertificeerde zagerijen in de tropen is dat een logische combinatie. In samenwerking met de houtbouwers kan ook gekeken worden of andere tropische houtsoorten zich laten lamineren. De positieve ervaringen met Iroko bieden daarbij een goede maatstaf. Door gecertificeerde (minder bekende) tropische houtsoorten in gelijmde vorm in brugconstructies toe te passen, wordt bovendien bijgedragen aan de ondersteuning en ontwikkeling van duurzaam bosbeheer in de tropen.

Daarnaast lijkt het toepassen van gelamineerd Nederlands naaldhout een zinvolle overweging. Er is relatief veel Lariks beschikbaar op jaarbasis. Daarnaast is er maatschappelijk gezien aandacht voor het stimuleren van Nederlandse bosbouw vanuit het milieuperspectief. De *Bossenstrategie* voorziet in circa 37.000 hectare extra bos in Nederland.⁶⁹ Er gaat al snel een paar honderd kubieke meter hout in een verkeersbrug, waardoor deze toepassing zal leiden tot een impuls van Nederlands houtgebruik.

6.2 Aanbesteding & Realisatie

Om een houten verkeersbrug met succes in Nederland toegepast te krijgen, zal er wel een inspanning van RWS noodzakelijk zijn. Veel Nederlandse bouwers zijn beperkt in hun ontwerpcapaciteit en schatten het te risicovol in om op een design&construct tender in te schrijven met een zelf ontworpen houten verkeersbrug. Dat risico ligt enerzijds in de tijd die bedrijven moeten

⁶⁹ *Nationale bossenstrategie. Voorstellen sector os en natuur*, 2020, 7-9, https://www.vbne.nl/Uploaded_files/Zelf/nationale-bossenstrategie-voorstellen-sector-bos-en-natuur-maart-2020.766e8b.pdf.

investeren in een ontwerp, maar anderzijds spelen ook de risico's op de prestaties van het geleverde product een rol. Als RWS echter een ontwerp voor een houten verkeersbrug aanbesteedt, zijn veel van de geïnterviewde bedrijven erg geïnteresseerd om een aanbieding te maken. De risico's worden voor de bedrijven daarin voldoende gemitigeerd en bovendien kan RWS daarmee ook laten zien dat ze een betrouwbare opdrachtgever is om deze vanuit milieuperspectief gestimuleerde ontwikkeling te ondersteunen. Dit is overigens een andere manier van aanbesteden dan zoals recent de fiets/voetgangersbrug in Groningen met een relatief strenge MKI-eis.

De gevraagde ontwerplevensduur is daarbij ook een punt van aandacht. Zoals diverse bedrijven hebben aangegeven, is 80 of 100 jaar niet erg realistisch gezien het feit dat veel bruggen voortijdig hun functie verliezen. Bovendien is het ongewis hoe het verkeersaanbod in de komende decennia zal ontwikkelen, mede ook gezien de toenemende focus op milieubeleid. De ontwerplevensduur lijkt dus een sleutel te zijn om de toepassing van houten verkeersbruggen te optimaliseren. De referenties in hoofdstuk 4 laten uiteenlopende ontwerplevensduren zien: van 60 tot 100 jaar. Naast de genoemde levensduur van de brug in Canada (83 jaar), blijken bruggen in Zweden ontworpen te zijn op 80 jaar, maar in de praktijk langer te functioneren.⁷⁰

De kosten van houten verkeersbruggen zijn blijkens diverse gegevens geen bezwaar. De Daleråsen brug in Noorwegen (2000) zou aanvankelijk in beton uitgevoerd worden, maar is uiteindelijk kostenneutraal in hout gerealiseerd. Ook het feit dat in Noorwegen de afgelopen 25 jaar ongeveer 200 verkeersbruggen in hout zijn uitgevoerd geeft al aan dat het kostentechnisch aanvaardbaar is. Volgens een Fins artikel zijn de aanschafkosten van kleinere bruggen (tot 20 meter) zelfs aanzienlijk lager dan varianten in beton, mits er wel van standaard bruggen wordt uitgegaan.⁷¹

6.3 Beheer & Onderhoud

Wat betreft beheer en onderhoud worden in de literatuur diverse aspecten benoemd. Omdat Noorwegen het land lijkt te zijn met de meeste ervaring met houten verkeersbruggen, vormen de aanwijzingen van de Noorse overheid een belangrijke bron van informatie over beheer en

⁷⁰ Zie: <https://www.woodproducts.fi/content/wooden-bridges>.

⁷¹ Zie: <https://www.woodproducts.fi/content/wooden-bridges>.

onderhoud.⁷² Volgens deze aanwijzingen hebben houten bruggen een lange levensduur en zijn de kosten voor onderhoud en reparatie laag.

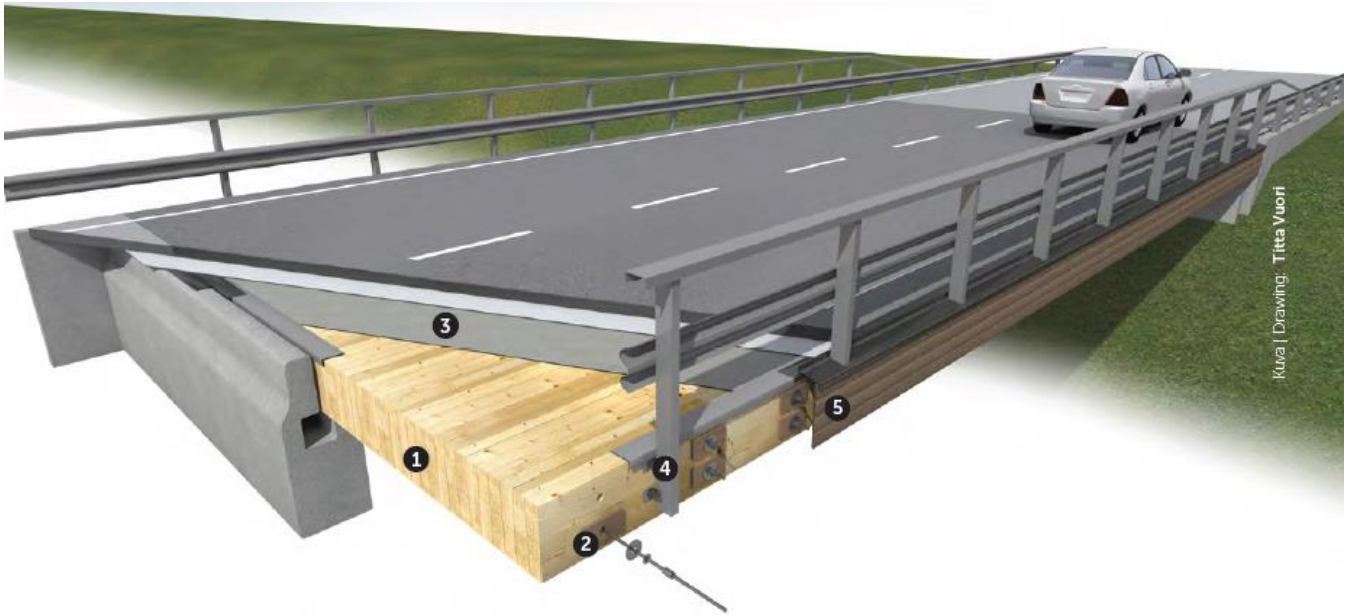
Vanuit onderhoudservaringen is ook veel waardevolle informatie voor ontwerpen te verkrijgen. In een SP-rapport uit 2017 wordt een goed overzicht geboden van detaillering en ontwerp voor houten bruggen. Deze informatie zou in een ontwerpproces voor Nederland zeker geraadpleegd moeten worden.⁷³

In een Fins artikel wordt gewezen op de volgende onderhoudsaspecten. In geval van een houten dek dient twee keer per jaar de waterdichtheid gecontroleerd te worden. Deze inspectie kan op het oog uitgevoerd worden omdat in geval van een vochtschade er altijd zwellingsverschijnselen optreden die zichtbaar worden bij bijvoorbeeld verbindingpunten. De waterdichte laag van het dek moet na 25 jaar worden vernieuwd. Eventueel weersinvloeden op de gelamineerde balken heeft vooral invloed op de blootgestelde lamel en deze kan eventueel worden vervangen. Figuur 13 geeft de opbouw van vuren gelamineerde brugdekken in Scandinavische landen. Om deze inspectie te stimuleren kan ook overwogen worden om sensoren in te bouwen die het houtvochtgehalte op diverse plaatsen meten. De ervaringen in bijvoorbeeld de houten wegportalen in Nederland kunnen daarbij wellicht gebruikt worden.⁷⁴

⁷² Zie het artikel over dit onderwerp: <https://www.woodproducts.fi/articles/norwegian-government-supporting-and-promoting-construction-timber-bridges>.

⁷³ Anna Pousette, *et al*, *Durable Timber Bridges. Final Report and Guidelines*, SP Rapport 2017:25, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1116787/FULLTEXT01.pdf>. Het valt buiten de opdracht van dit onderzoek om een literatuuroverzicht te geven met een samenvatting van de relevante aandachtspunten.

⁷⁴ Zie: <https://www.shr.nl/case-studies/houten-i-p-v-stalen-wegportalen-minder-onderhoud-dus-goedkoper>.



Figuur 13: Een voorbeeld van de opbouw van een gelamineerd vuren brugdek voor houten verkeersbruggen. Afbeelding: <https://www.woodproducts.fi/content/how-do-you-build-a-bridge-timber> (Modelark Oy, Titta Vuori Hill).

Een vuistregel van de Informationsdienst Holz (2005) geeft enige richting in de te verwachten onderhoudskosten.⁷⁵ Daarbij is onderscheid gemaakt in materiaal en mate van bescherming van de constructie. Ruwweg schommelen de onderhoudskosten (op basis van onderzoek naar het daadwerkelijke onderhoud aan ongeveer 40 bruggen) rond de 1% van de investeringskosten (realisatie). Hoe meer bescherming een constructie geniet, hoe lager de onderhoudskosten zullen zijn. De vier betrokken tropisch hout bruggen behaalden de laagste onderhoudskosten. In vrijwel alle gevallen uit de referentielijst lijkt een afwerking niet toegepast. Dat zal ongetwijfeld met onderhoudsaspecten te maken hebben. Overigens was de geraadpleegde informatie van de bruggen in hoofdstuk 4 over het algemeen vrij summier over onderhoudsaspecten.

⁷⁵ Mathias Gerold, *Spezial. Unterhaltungskosten und Lebensdauer geschützter Holzbrücken*, Bonn: Informationsdienst Holz, 2005, 1-8, https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/3_Spezial/Spezial_Unterhaltungskosten_und_Lebensdauer_geschuetzter_Holzbruecken_2005.pdf.

7. Conclusie en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Allereerst blijkt uit deze verkenning dat het bouwen van houten verkeersbruggen technisch goed uitvoerbaar is. Voorbeelden van verkeersbruggen in dorpen en steden tot intensief bereden snelwegen zijn er genoeg te vinden in Europa. Vanuit kosten oogpunt en onderhoud zijn er ook geen doorslaggevende bezwaren gevonden tegen het gebruik van hout in dergelijke bruggen. In Nederland is echter nog maar weinig ervaring opgedaan met houten verkeersbruggen. Bovendien komen die bruggen dan ook uit het buitenland.

Er zijn uiteenlopende consortia in Europa die actief zijn in het bouwen van houten verkeersbruggen. Dat Europese bedrijven de weg naar Nederland kennen blijkt wel uit de door Schaffitzel gebouwde bruggen in Sneek en Groningen. Ook Nederlandse partijen hebben interesse in deze ontwikkeling, maar zien dan wel graag dat een houten brug wordt aanbesteed. Daarmee is RWS ook risicodragend. Die ondersteuning lijkt voor de Nederlandse partijen in elk geval erg belangrijk.

Diverse materialen kunnen toegepast worden voor houten bruggen. Met gelamineerd naaldhout is veruit de meeste ervaring opgedaan. Gelamineerd tropisch loofhout, gedeuveld en massief tropisch loofhout komen veel minder voor. Qua ontwerp en techniek is gebleken dat een beschermde draagconstructie belangrijk is om de levensduur in het Nederlandse klimaat ook waar te maken. Vanuit het oogpunt van de beperkte mogelijkheden voor onderhoud (inclusief de kosten) is een afwerking niet voor de hand liggend.

7.2 Aanbevelingen

Om het toepassen van houten verkeersbruggen in Nederland te stimuleren, zijn de volgende vier aanbevelingen van belang.

1. Ontwerp van houten brug aanbesteden met een aanvaardbare ontwerplevensduur

Deze aanbeveling is van belang om de bruggenbouwers te stimuleren in hout aan te bieden. Bedrijven lijken op basis van ingeschat risico een afweging te maken om in te schrijven op een aanbesteding. Als traditionele materialen eveneens tot de mogelijkheden behoren, is de kans klein dat er met een houten brug wordt ingeschreven.

2. Zet in op het gebruik van drie typen hout

Gelamineerd naaldhout is het meest gebruikte materiaal voor houten verkeersbruggen. RWS kan de Nederlandse bosbouw stimuleren door in te zetten op Nederlands gelamineerd naaldhout. Een samenwerking met grote bosbeheerders zoals Staatsbosbeheer zal daadwerkelijk bijdragen het stimuleren van het gebruik van Nederlands hout. Een belangrijk aandachtspunt is daarbij overigens wel de verduurzaming en detaillering. Een specifiek aandachtspunt is de toepassing van naaldhout in brugdekken, waarbij een waterdichte membraan het hout tegen waterbelasting en houtaantasting moet beschermen (zie figuur 13).

Met de realisatie van de bruggen in Sneek is er ook ervaring opgedaan met Accoya als bouw materiaal. De ervaringen daarmee kunnen gebruikt worden om de toepassing van Accoya in bruggen verder te ontwikkelen.

Daarnaast kan er ook gekeken worden naar gecertificeerd tropisch hout in massieve dan wel gelamineerde vorm. Met het gebruik van tropisch hout in grote fiets/voetgangersbruggen is veel meer ervaring in Nederland.

Met Accoya en tropisch hout kan Nederland zich bovendien onderscheiden als innovatief. Dat biedt de Nederlandse leveranciers en bouwers ook kansen op de Europese markt.

3. Literatuuronderzoek naar ontwerp, realisatie en prestaties van houten verkeersbruggen

Binnen de beperkte kaders van dit onderzoek zijn verschillende rapporten gevonden die ingaan op relevante aspecten van houten verkeersbruggen zoals uitvoering, detaillering en onderhoud. Hieruit kunnen relevante aspecten voor de Nederlandse context afgeleid worden.

4. Stimuleren van de toepassing van houten (verkeers)bruggen

Vanwege de goede milieuprestaties zou RWS het gebruik van hout in bruggen en verkeersbruggen kunnen stimuleren bij andere overheden. Zowel gemeentes als provincies kunnen relatief snel scoren op hun milieudoelstellingen door bruggen (deels) in hout te bouwen. De ondersteuning met kennis en ervaring vanuit RWS kan een belangrijk middel zijn om decentrale overheden mee te krijgen.

8. Geraadpleegde bronnen

Literatuur

- **Arcadis**. *Focus op duurzaamheid in het GWW-aanbestedingsproces. Een verkenning*. 2010.
- **Banga**, Jan. *Nieuwe houtsoorten voor de waterbouw. Werkboek Constructiedetails en duurzaamheid*. Drachten: Ingenieursbureau Boorsma, 2004.
- **Boer**, Hoegina de. "Accoya verkeersbrug Sneek. Over een wereldwonder." *Het Houtblad* (februari 2009): 30-35. <http://docplayer.nl/29315128-Over-een-wereldwonder.html>.
- **CUR**. *Hout in de GWW-sector. "Duurzaam detailleren in hout."* CUR-rapport 213. Gouda: Stichting CUR, 2003.
- **Gerold**, Matthias. *Spezial. Unterhaltungskosten und Lebensdauer geschützter Holzbrücken*, Bonn: Informationsdienst Holz, 2005, 1-8, https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/3_Spezial/Spezial_Unterhaltungskosten_und_Lebensdauer_geschuetzter_Holzbruecken_2005.pdf.
- **Kolkmeijer**, Marein. "Brug en havengebouw/restaurant Marnemoende IJsselstein." *Het Houtblad* 34 (Januari 2007): 34-39. <http://docplayer.nl/16548975-Januari-2007-het-houtblad-foto-s-www-johnlewismarshall-com-brug-en-havengebouw-restaurant-marnemoende-ijsselstein-over-de-hollandse-ijssel.html>.
- **Malo**, K.A., A. Holmestad & P.K. Larsen. "Fatigue Strength of Dowel Joints in Timber Structures." *9th World Conference on Timber Engineering* (2006), paper 193.
- **Nationale bossenstrategie**. *Voorstellen sector bos en natuur*, 2020. https://www.vbne.nl/Uploaded_files/Zelf/nationale-bossenstrategie-voorstellen-sector-bos-en-natuur-maart-2020.766e8b.pdf.
- **NWO**. *Opcirkelen in de Bouw*. Geciteerd in Peter Kuindersma, *Circulair bouwen en biobased materialen. In perspectief*. Presentatie Expertessie Natuurlijk Circulair. Beilen: Daad Architecten, November 2019.
- **O'Born**, Reyn. "Life Cycle Assessment of Large Scale Timber Bridges: A Case Study from the World's Longest Timber Bridge Design in Norway." *Transportation Research Part D* 59 (2018): 301-312.
- **Pousette**, Anna et al. *Durable Timber Bridges. Final Report and Guidelines*. SP Rapport 2017:25. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1116787/FULLTEXT01.pdf>.
- **Twynstra Gudde**. *Verkenning ketensamenwerking hout in de GWW*. 2019.
- **Sweco**. *Timber Bridges*. Version 4. Lillehammer: 2013.
- **Veie**, J., T.A. Stensby en A. Bjertnaes. "New dimensions in bridge construction in Norway," Internationale Holzbau-Forum IHF 2015, 3-8, http://www.forum-holzbau.com/pdf/65_IHF_2015_Bjertnaes.pdf.

Websites (exclusief informatie over specifieke bruggen in hoofdstuk 4)

- www.accoya.com
- <https://www.bionicttechnology.nl/>
- <http://www.forum-holzbrueckenbau.com/>
- www.glugreen.com
- <https://www.ib-miebach.de/>
- <http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1467>.
- <https://www.orga-architect.nl/nieuws/longread-x-7-emissievrij-bouwen/>
- <https://www.shr.nl/case-studies/houten-brug-bij-sneek-voor-de-zwaarste-verkeersklasse>.

-
- <https://www.shr.nl/case-studies/houten-i-p-v-stalen-wegportalen-minder-onderhoud-dus-goedkoper>
 - <https://structurae.net/>
 - <http://www.swiss-timber-bridges.ch/>
 - <https://www.woodarchitecture.fi/>
 - www.woodproducts.fi/articles/norwegian-government-supporting-and-promoting-construction-timber-bridges
 - [https://www.woodproducts.fi/content/wooden-bridges.](https://www.woodproducts.fi/content/wooden-bridges)